Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Abriebfestigkeit verschiedener zahnärztlicher Brückenverkleidungsmaterialien

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Dieter von Saal
aus Uhingen

1963

7530

Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. Eugen Fröhlich

Abriebfestigkeit verschiedener zahnärztlicher Brückenverkleidungsmaterialien

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Dieter von Saal
aus Uhingen

1963

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Prof. Dr. Dr. E. FRÖHLICH

1. Berichterstatter: Doz. Dr. E. KÖRBER

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. E. FRÖHLICH

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

Meiner Mutter

in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547601_0053

Inhaltsverzeichnis

THEORETISCHER TEIL

I. Einleitung und Problemstellung 1

II. Schrifttumsübersicht

A. Die Abnützung natürlicher und künstlicher Zähne und der Begriff der Abrasionsfestigkeit 3

B. Bisherige Untersuchungsmethoden der Abriebfestigkeitsmeßungen 7

C. Der Einfluß von Vernetzern auf die in der Zahnheilkunde verwendeten Kunststoffe 13

EXPERIMENTELLER TEIL

III. Material und Methodik

A. Eigene Versuchsanordnung für die Abriebprüfungen von zahnärztlichen Brückenverkleidungsmaterialien 16

Die Abrasionsmaschine 17

B. Die Form der Versuchskörper und ihre Herstellungsmethodik 20

C. Die Zusammensetzung und Eigenschaften des Schleifmittels 25

D. Meßgeräte zur Bestimmung des Abriebs 27

1) Analysenwaage 27

2) Elektronisches Meßgerät 28

3) Präzisionsmeßuhr 30

IV. Eigene Untersuchungen

A. Durchführung der Versuche 31

B. Abriebergebnisse

1) Erläuterung der Versuchsreihen 37

2) Statistische Auswertung der Versuchsreihen 51

C. Untersuchungen über die Vickershärte 57

1) Prüfgerät 58

2) Technik zur Durchführung der Härteprüfung 59

V. Diskussion und Besprechung der Ergebnisse 62

VI. Zusammenfassung 71

VII. Literaturverzeichnis 74

VIII. Schlußwort 79

IX. Lebenslauf 80

THEORETISCHER TEIL

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Zähne als der mechanisch beanspruchte Teil des Kauorgans unterliegen einem naturbedingten Verschleiß. Art und Intensität variieren dabei individuell in starkem Maße. Eine besonders augenfällige Form ist der sogenannte Abrieb der Zahnhartsubstanzen.

Wenn wir nun die Aufgabe haben, ein reduziertes Gebiß durch Zahnersatz zu versorgen, so ergibt sich aus der Kenntnis der naturbedingten Abnutzung der Zahnhartsubstanzen die Notwendigkeit, für die Kauflächen des Ersatzes einen Werkstoff zu wählen, der diese physiologischen Abläufe nicht stört. Wir müßten also verlangen, daß das zu verwendende Material gegenüber der Abrasion nach Möglichkeit ein ähnliches Verhalten aufweist, wie die natürlichen Zähne. In ganz besonderem Maß gilt das für den festsitzenden, parodontal verankerten Zahnersatz.

Seit der Einführung der Kunststoffe in die Zahnheilkunde wurde ihr Anwendungsbereich ständig vergrößert. Ihre einfache Verarbeitung, ihr guter kosmetischer Effekt und ihre Preiswürdigkeit haben sie an die erste Stelle der in der Zahnheilkunde verwendeten Werkstoffe gestellt. Leider haftet ihnen, trotz ständiger Qualitätsverbesserungen immer noch ein relativ großer Mangel an, nämlich die im Vergleich zum Porzellan, den Metallen und den Zahnhartsubstanzen geringe Abriebfestigkeit. So berichtet M. HOFMANN (19), daß schon nach ungefähr fünf Jahren die individuelle Oberflächengestaltung kaum mehr zu erkennen ist. Die facialen Flächen beginnen ihre Wölbung zu verlieren und sich abzuflachen. Dadurch erlitt nicht nur das Aussehen des Ersatzes eine

Einbuße, sondern es traten auch Störungen der Okklusion und Artikulation auf. Durch den übermäßigen Abrieb der Kauflächen wurde die Bißhöhe gesenkt, die Gegenzähne wanderten aus ihrer Lage heraus, es entstanden Artikulationshindernisse, die nicht selten zu krankhaften Veränderungen des Parodontiums und des Kiefergelenkapparates führten.

In den letzten Jahren haben sich bei uns in Deutschland besonders zwei Brückenverkleidungsmaterialien herauskristallisiert. Es sind dies das seit 1938 bekannte P a l a p o n t der Firma Kulzer & CO und das nach dem Kriege erschienene J u s t i C + B M a t e r i a l der Firma Ivoclar, im Folgenden kurz SR genannt, das als erstes kreuzgittervernetzt war.

Es ist nun ein berechtigtes Anliegen der Praxis Aufschluß darüber zu erhalten, in wieweit die zur Wahl stehenden Werkstoffe abrasionsfähig sind. Um diese Frage zu beantworten, haben wir ein kunststoffgerechtes und gebrauchsähnliches Prüfverfahren entwickelt.

Es besteht nun bei Praktiker und Techniker die Ansicht, daß SR hinsichtlich seiner Abriebfestigkeit führend sei.

In dieser Arbeit sollen nun die Unterschiede in der Abrasionsfestigkeit dreier Brückenverkleidungsmaterialien miteinander verglichen werden, und zwar sowohl bei verschiedenen Verarbeitungsmethoden,als auch bei unterschiedlichem Versuchsablauf. Insbesondere soll auch geprüft werden, in wieweit irgend welche Änderungen in der Verarbeitung zu besseren Ergebnissen führen können.

Im Anschluß an diese Abriebprüfungen wurden noch von jeder Kunststoffserie Härteprüfungen nach Vickers durchgeführt.

II. SCHRIFTTUMSÜBERSICHT

A. Die Abnützung natürlicher und künstlicher Zähne und der Begriff der Abrasionsfestigkeit

Aus kosmetischen Gründen ist es oft notwendig, daß im Frontzahngebiet, aber auch im Seitenzahnbereich Teile der Kaufläche aus Acrylaten hergestellt werden müssen. Aber gerade diese sind dem Abrieb besonders ausgesetzt. So klar sich nun die Abrasionserscheinungen klinisch kund tun, so unklar und umstritten erscheint im Schrifttum ihr Entstehungsmodus.

E. WANNENMACHER (44) sieht die Ursache der Abrasion in bestimmten Nahrungsbestandteilen, die eine schleifende Wirkung ausüben sollen. Er stützt sich auf die Beobachtung, daß es, nach entsprechenden Funden zu urteilen, in der Steinzeit ganz offensichtlich mehr Abrasionsgebisse gab als heutzutage. Auch M. HOFMANN (19) ist der Meinung, daß in erster Linie die mechanische Zerkleinerung der Speisen für den Abrieb in Frage kommt. Eine nicht untergeordnete Rolle spielen bei kunststoffverkleideten Kronen und Brücken auch die Tonuslage der Lippen- und Wangenmuskulatur, sowie Schlemmkreide enthaltende Zahnpasten und harte Zahnbürsten.

W. WILD (47) nimmt als Ursache für den Abrieb eine Kontaktreibung der Zähne während des Kauaktes an. Diese trete dann auf, wenn der harte Bissen völlig durchtrennt sei, bei einer Mahlzeit also einige hundert Mal.

Demgegenüber vertritt C. HILTEBRANDT (18) die Meinung, daß zunächst einmal die zum Kauen benötigte Zeit verhältnismäßig kurz ist und weiterhin, während der Nahrungsaufnahme eine Berührung der Zähne nur beim Schluckakt stattfinde, und da auch nur ohne Druck und Reibung. Er erklärt das Entstehen von Schliffacetten durch ein Gegeneinanderreiben

der Zahnreihen unabhängig vom Kauakt als Ergebnis der sogenannten "spielerischen Kontrollbewegungen".
D. SCHUCHARDT (37) sieht die Ursache von Abrasionen in dem Aneinanderreiben der Zähne während der Ausübung von Parafunktionen. Vor allem beim nächtlichen Pressen und Knirschen werden erhebliche Kräfte frei, die entweder eine Abrasion oder eine Lockerung der Zähne verursachen können. Um Mißverständnisse zu vermeiden, schlägt W. DRUM (9) für die parafunktionell bedingten Abrasionen die bereits vielfach gebrauchte Bezeichnung "Attrition" (tero - reiben) vor.

Nur am Rande seien an dieser Stelle die örtlich begrenzten Abrasionserscheinungen erwähnt, deren Ursache in Angewohnheiten liegen oder beruflich bedingt sind. Nach H. MEYER (28) verursacht das ständige Tragen von Tabakspfeifen einen ganz charakteristischen Verlust der Zahnsubstanz, ähnliche Schädigungen entstehen bei Glasbläsern und auch bei Klarinettenspielern wurden erhebliche Substanzverluste durch die ständige direkte Berührung der Instrumente mit den Schneidezähnen beschrieben. Kleine runde Kerben in den Frontzähnen lassen sich bei Schneidern und Blumenbinderinnen beobachten. Schließlich weisen Schuster durch das Halten von Nägeln den Hutchinsonschen Zähnen ähnliche Defekte auf.

H. MEYER (28) hält die Zähne für ihre eigene "Schleifmittellieferanten", indem abgetragene Schmelzteilchen, insbesondere während der Nacht, mit dem Speichel zusammen ein verdünntes Schleifmedium bilden. D. SCHUCHARDT (37) geht sogar soweit und behauptet, daß es eine Abrasio ohne Schleifmittel gebe, und der Zahn selbst als Schleifstein wirke.

Diesen Bedingungen unterliegen aber auch alle eingegliederten künstlichen Zähne. Außerdem haben natürliche Zähne und Porzellanzähne infolge ihrer viel größeren Härte ein leichtes Spiel durch spanabhebende Wirkung eine schnelle Abrasion des weicheren Kunststoffes herbeizuführen.

Weiterhin stellt C - H. FISCHER und K. MÜNSTERMANN (11) fest, daß durch Wasseraufnahme die Abriebfestigkeit des

Kunststoffes herabgesetzt wird. M. HAEFELI (16) hebt hervor, daß bei der Abrasion der Kunststoffe die Perlen in toto aus dem polymerisierten Monomer herausgebrochen werden. A. GERBER (13) erklärt dazu anschaulich, daß die exzessive Abrasion an Kunststoffzähnen darauf zurückzuführen sei, daß die reibende Beanspruchung eine oberflächliche körnige Abschabung verursacht, welche in vergrößertem Maßstab ungefähr mit dem Abschleifen einer verwitterten Sandsteinfassade verglichen werden kann.

H. RITZE und H. J. UDE (34) weisen noch auf die Korrosion durch chemische Vorgänge hin. Die neueren Kunststoffe sind jedoch rein herstellungsmäßig wesentlich verbessert und somit dürfte die Gefahr der "Korrosion" durch chemische Stoffe weitgehend gebannt sein.

Um den Begriff der Abrasionsfestigkeit genau zu definieren, soll zunächst der Unterschied herausgestellt werden zwischen Festigkeit auf der einen Seite und Härte auf der anderen Seite. Die allgemeine Vorstellung deutet den Zusammenhang so, daß, je härter ein Stoff sei, eine umso größere Abrasionsfestigkeit er besitzen müsse. Gedacht wird dabei an den Diamanten oder in unserem Falle an das Porzellan. Diese Vorstellung ist aber rein zufällig und nur an die Beobachtung beim Porzellan gebunden. Sie ist nicht auf andere Werkstoffe übertragbar. Als Beispiel sei hier nur auf den Vergleich zwischen zwei Lastkraftwagen hingewiesen, welche beide unter sonst gleichen Bedingungen, der eine aber mit Eisenrädern und der andere mit Gummireifen, eine bestimmte Fahrstrecke zurückzulegen haben. Es steht außer Zweifel, daß der Wagen mit den Eisenrädern die größeren Abrasionserscheinungen aufweisen wird, während andererseits auch keine Meinungsverschiedenheit über die Frage, welches Material "härter" ist, entstehen wird. Die Beziehung Härte zur Abrasionsfestigkeit ist also nicht absolut, und mit Härtemessungen allein ist nichts über die Abrasionswerte

eines Stoffes auszusagen. Diese sind vielmehr abhängig von dem Verhältnis der Härte, der Festigkeit und nicht zu vergessen, von der Elastizität des Stoffes. Diese Eigenschaften jedoch liegen in der molekularen Strukturausbildung der Kunststoffe begründet.

Man versteht nun unter Härte lediglich den Widerstand eines festen Körpers gegen das Eindringen eines anderen festen Körpers. Bei der Festigkeit jedoch wird der Widerstand gemessen, den ein fester Körper der Trennung oder Verformung entgegensetzt. Als Elastizität bezeichnet man schließlich die Eigenschaft fester Körper, die unter dem Einfluß einer äußeren Kraft aufgenommene Formveränderung nach Aufhören dieser Kraft wieder rückgängig zu machen. Diese Formveränderungen sind anfänglich proportional den äußeren Kräften und damit den inneren Spannungen. Bei Steigerung der Kräfte nimmt die Formveränderung schließlich stärker zu als die Spannung; der Körper wird dann plastisch und beginnt zu fließen. Die Abriebfestigkeit ist nun der Widerstand, den ein Körper gegen eine flächenmäßig wirkende rhythmische Krafteinwirkung entgegensetzt. Wir sprechen überall dort von einem Abriebvorgang, wo sich zwei Flächen unter Substanzverlust gegeneinander reiben. Die Folge dieser Überlegung ist die Erkenntnis, daß eine Steigerung der Abriebfestigkeit nur zu erreichen ist, durch Erhöhung der Härte zusammen mit einer Vergrößerung der Festigkeit des Werkstoffes unter Beibehaltung einer gewissen Elastizität.

B. Bisherige Untersuchungsmethoden der Abrieb-festigkeitsmessungen

Unter adaequaten Untersuchungsmethoden verstehen wir Verfahren zur Untersuchung von Werkstoffen, die nicht auf bekannte technische Proben zurückgreifen, sondern den speziellen Werkstoffeigenschaften angepaßt sind. Die besonderen Verhältnisse der Anwendung eines Stoffes am Lebenden verlangt aber noch die Angleichung der Untersuchung an die besonderen Bedingungen der Mundhöhle (42). Wir suchten nun nach Prüfmethoden, die den Vorgang im Munde möglichst getreu nachahmen. Die in der Literatur bereits beschriebenen Untersuchungen konnten uns nicht voll befriedigen.

Die früheste, nie zur Veröffentlichung gekommene Methode zur experimentellen Bestimmung der Abrasionsfestigkeit stammt unseres Wissens von E. SZAPP. Auf eine langsam rotierende Messingscheibe, die mit Zahnpasta bestrichen war, wurde mit bestimmtem Druck der Versuchskörper aufgesetzt. An Hand des Gewichtsverlustes wurde die Abrasion nach bestimmter Zeit der Einwirkung festgestellt.

Aus dem Bestreben heraus, eine Vergleichsbasis für das Abriebmaß von Metallen und Kunststoffen zu finden, übernahm R. STRACK (42) eine ähnliche Versuchsanordnung, indem nämlich ein Stift auf einer Werkstoffplatte rotierte. Zwischen Stift und Kunststoff wurde als Abriebmittel zum Teil Bimsstein oder Schlemmkreide benutzt. Wie R. STRACK (42) jedoch selbst ausführte, erwies sich dieses Verfahren als unbrauchbar. Die Untersuchungsergebnisse ließen sich in keiner Weise mit den klinischen Beobachtungen in Einklang bringen.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die Prüfmethoden der reifenerzeugenden Industrie. Wie uns die

CONTINENTAL GUMMI - WERKE AKTIENGESELLSCHAFT (6) und die DEUTSCHE DUNLOP GUMMI COMPAGNIE AG (7) mitteilte, ist die Versuchseinrichtung, deren sie sich bei der Durchführung von Abrasionsversuchen bedienen, genormt und unter der Norm - Nummer DIN 53 516 registriert. Die Versuchsanordnung war ursprünglich für Abriebbestimmungen an gummiartigen Schuhsohlen - und Absatzmaterial entwickelt und später auch für Reifengummi übernommen worden. Das Prüfgerät ist eine Schleifvorrichtung, die im wesentlichen aus einer drehbar gelagerten Walze, auf die ein Schmirgelbogen gespannt ist, und einem Probenhalter besteht. Sie wird über einen Elektromotor angetrieben, mit einer Drehzahl von 40 $\pm$ 1 U/min. Die zylindrischen Proben mit einem Durchmesser von 16 mm + 0,2 mm werden mit einer Kraft von 1 kg auf die Reibfläche gedrückt. Der Probenhalter wird gleichmäßig parallel zur Walzenachse seitlich verschoben. Die Probe wird bei jeder Walzenumdrehung kurzzeitig von der Reibfläche abgehoben und danach wieder aufgesetzt. Der Versuch läuft über 100 Walzenumdrehungen. Als Maßstab des Abriebs dient der Volumenverlust.

Die Zahnfabrik HUTSCHENREUTHER (20) führt ihre Abriebversuche bevorzugt in trockenem Milieu durch, "um relativ schnell zu brauchbaren Vergleichswerten zu kommen". Der zu prüfende Zahn wird immer nur kurzzeitig auf eine runde, rotierende Scheibe aufgesetzt, damit keine Reibewärme entsteht. Dabei wird als Abriebmaterial eine unglasierte Porzellanscheibe etwa von der Rauhigkeit einer beschliffenen Porzellankaufläche oder auch ein feines Schmirgelpapier verwendet. Gemessen wird der Gewichtsverlust bzw. die abgeriebene Werkstoffmenge auf der Analysenwaage.

R. GROHS (15) verwendet keine konstanten Versuchskörper, sondern Zähne mit verschiedengroßen Abnützungsflächen. Dadurch ergaben sich starke Streuungen in den Versuchser-

gebnissen. Als Abnützungsmaschine kam eine Apparatur nach der Methode MÖHLER - SCHOPPER zur Anwendung, die auch zur Bestimmung der Abnützung von Bodenbelägen Verwendung findet. Er arbeitete in trockenem Milieu mit losem Elektrokorund Nr. 80 (nach DIN 52 108 / 45).

D. SCHUCHARDT (37) untersuchte die Schleifwirkung des Schmelzes, indem er das eine Mal Zähne auf Achatplatten in einem Brei aus Aqua dest. und pulverisiertem Schmelz schliff, das andere Mal Schmelz gegen Schmelz. Dazu bettete er jeweils zwei Zähne so ein, daß sie bei einer Belastung von 150 g und einer Amplitude von 1 mm im Aqua - dest. - Bad gegeneinander rieben.

J. BRUNNER (3) und H. STEINMETZ (41) führten die Bestimmung der Abriebfestigkeit von Paladon bzw. Palapont mit der Apparatur der Firma Degussa - Stierstadt durch. Die zylindrischen Probekörper hatten eine Höhe und einen Durchmesser von 8 mm . In einer Röhre wurden die Körper mit 1 100 g Belastung gegen eine Schleifscheibe gedrückt. Der Schleifkörper, ein grobkörniger Karborundstein, besaß einen Durchmesser von 5,3 cm und lief mit einer Umdrehungszahl von 100 U/min. Um ein Verschmieren der Poren auszuschalten, sowie die Reibungswärme abzuleiten, lief der Stein durch ein Wasserbad, das nach je 10 Prüfkörpern erneuert wurde. Nach 500 Umdrehungen wurde der Gewichtsverlust gemessen und aus fünf Einzelergebnissen der Durchschnitt errechnet.

K. KRAUS (24) stellte zur Prüfung der Abscherfestigkeit rechteckige Prüfkörper von der Größe 4,5 x 2,5 x 0,5 cm her. Als Schleifmittel diente einmal eine Zahnbürste, die mit feuchter Schlemmkreide beschickt war, das andere Mal wurde Schmirgelpapier von der Stärke 1 M genommen. Mit Hilfe eines Elektromotors und eines Exzenters, der die Zahnbürste bzw. das Schmirgelpapier trug, wurde auf dem jeweiligen festgeklemmten Prüfkörper hin - und hergerieben. Die Einwirkungsdauer betrug für beide Schleif-

körper 10 Minuten. Gemessen wurde auch hier der Gewichtsverlust, jedoch wurden die Prüfkörper vor und nach dem Abrieb im Trockenschrank und im Exsikkator getrocknet.

M. HOFMANN (19) stellte den Abrieb von Palapontfacetten ebenfalls durch Zahnbürsten fest. Über einen Keilriemen wurde ein horizontal gelagertes Rad mit einem Exzenter angetrieben, welches ein Pleuelgestänge mit Kolben trug, ähnlich einem Dampfmaschinenkolben. In der Mitte des Pleuelgestänges befand sich die Zahnbürste, die in einem Behälter mit der Scheuerlösung griff, in welchem der Prüfkörper festgeschraubt war. Der Scheuerdruck der Bürste auf den Prüfkörper entsprach der Größe bis zum jeweiligen maximalen Durchbiegen der Borsten. Dabei führte die Bürste drei elliptische Bewegungen pro Minute aus. Der Abrieb wurde in hundertstel Millimeter gemessen.

R. ISENBARTH (12) führte seine Schleifversuche mit einer modifizierten Kristallschleifapparatur nach von Goldschmidt durch. Als Schleifunterlage diente eine Stahlscheibe von 10 cm Durchmesser. Die Scheibe führte außer einer Rotationsbewegung noch eine Hin- und Herbewegung aus, so daß der von oben belastete, feststehende Versuchskörper die ganze Fläche bestrich. Das Schleifmittel, das aus Karborundpulver und Wasser bestand, wurde von Hand zugegeben. Die Schleifscheibe hatte eine Frequenz von 3,4 Hertz.

Bei H. MEYER (29) wurde das Teststück durch einen unter regulierbarem Federdruck stehenden Abriebbolzen bestrichen, dessen geradlinige Hin- und Herbewegung auch wieder von einem Exzenter mit einem Hub von 15 mm abgeleitet wurde. Der 3 mm starke Abriebbolzen bestand aus gehärtetem Silber-Vanadiumstahl, dessen Arbeitsende der Form eines Molarenhöckers entsprach. Die Prüfstücke wurden mit zwei Schraubklemmen in einem Wasserbad befestigt. Ausgewertet wurde die Gewichtsdifferenz nach

1 000 Umdrehungen der Exzenterscheibe bei einer Umdrehungszahl von zwei Umdrehungen in drei Sekunden und einem Auflagedruck von 4 kg.

J. OSBORNE (31) rieb den Kunststoff bei einer Geschwindigkeit von fünf Umdrehungen pro Minute acht Stunden lang gegen angerauhtes Glas und bestimmte den Höhenverlust der Probe.

SPRETER von KREUDENSTEIN und H. BUSCH (40) ließen mittels einer Druckimpulsmaschine 24 Stunden lang rein vertikale Kräfte mit einer Frequenz von 2 Hertz intermittierend auf die Prüfkörper einwirken.

Bei F. A. SLACK (39) wurde wiederum der Prüfkörper mit einer Kraft von 500 g gegen eine paraffinbefeuchtete Karborundscheibe gedrückt und nach 100 Umdrehungen der Gewichtsverlust gemessen.

C. - H. FISCHER und K. MÜNSTERMANN (11) führten ihre Untersuchungen mit einer ähnlichen Methode durch, wie sie oben bei der Gummiindustrie schon beschrieben wurde. Der Druck betrug bei diesen Versuchen 637 g/cm^2, die Frequenz 0,5 Hertz. Gemessen wurde der Volumenverlust in Kubikmillimetern nach 50 Umdrehungen, das heißt, nach 20 m Schleifweg.

Mit der von F. SCHRÖDER (36) beschriebenen Versuchsanordnung können nur Kontaktschliffe erzeugt werden. Extrahierte Naturzähne wurden zu Gebissen zusammengestellt, in Paladon fixiert, eingeschliffen und anschließend im Rite - Artikulator eingegipst. Die Prämolaren und Molaren einer Seite wurden einmal oben und unten durch Brücken aus den jeweils zu untersuchenden Werkstoffen ersetzt, das andere Mal blieben die unteren Naturzähne dieser Seite stehen. Die so vorbereiteten Gebisse wurden mittels der von WESTHOFF beschriebenen Rite - Schleifmaschine gegeneinander geschliffen. Die durch einen Wachsstreifen ge-

bildete Wanne ermöglichte ein Schleifen unter Wasser. Die Schleifmaschine führte pro Minute 150 Schleifbewegungen durch, wobei der Kontakt der Kauflächen unter einem gleichmäßig verteiltem Druck von zwei Kilogramm weitmöglichst gewährleistet blieb.

H. BÖHL (2) diente schließlich als Abrasionsgerät eine zu diesem Zwecke abgeänderte Jota - Einschleifmaschine, die von einem stark untersetztem Motor angetrieben wurde. Das Gerät entsprach einem feststehenden Artikulator, von dessen beweglich gelagertem Unterteil, über eine Exzentersteuerung horizontale Mahlbewegungen durchgeführt wurden. Hierdurch rieb der im Unterteil befestigte Prüfkörper gegen den im Oberteil verankerten gleichartigen Prüfblock im Sinne von zwei Zahnreihen, jeweils acht Stunden gegeneinander. Gleichzeitig erfolgte nach 16 Horizontalbewegungen ein Anheben und Zurückfallen des mit 1,5 kg belasteten Oberteils. Während des ganzen Abrasionsvorganges bewegten sich die Prüfkörper in einem Speisebrei, bestehend aus Roggenmehl, Schlemmkreide und Mineralspeichel. Mittels einer Präzisionsuhr konnte der Abrieb direkt am Gerät abgelesen werden.

C. Der Einfluß von Vernetzern auf die in der Zahnheilkunde verwendeten Kunststoffe

Die heute als Werkstoffe zur Herstellung von Kronen und kunststoffverkleideten Brückenkonstruktionen verwendeten Kunststoffe sind fast ausschließlich Polymerisationsprodukte und zwar vornehmlich Polymethacrylsäuremethylester, bestehend aus Monomeren und Polymeren. Die Moleküle dieser hochpolymeren Kunststoffe können nun nach S. SCHREIBER (35) in verschiedenen Formen angeordnet sein:

a) In unverzweigter, linearer, fadenförmiger Gestalt.
b) In verzweigter, strauchähnlicher Gestalt.
c) In raumnetzförmiger Gestalt.

Von einer Vernetzung der Molekülketten spricht man erst dann, wenn sich durch chemische Bindungen in den Molekülketten sogenannt Ringschlüsse oder Maschen bilden. Dabei können die Ringe in einer Ebene liegen und eine Art Flächen-Netze bilden, oder die Ringe liegen in allen Richtungen des Raumes, weshalb man dann von Raumnetzen spricht.

Bei vernetzten Kunststoffen können sich die einzelnen Moleküle sowohl in der Anzahl der Ringe, als auch in der Ringgröße unterscheiden. Die Anzahl der Ringe ist maßgebend für den V e r n e t z u n g s g r a d , das heißt je mehr Ringe, um so stärker die Vernetzung. Bei gleichem Vernetzungsgrad braucht jedoch der Vernetzungszustand nicht der gleiche zu sein, und zwar dann, wenn die Ring- oder Maschengröße verschieden ist, das heißt, man muß noch die V e r n e t z u n g s a r t , ob klein- oder großmaschig, unterscheiden. Großmaschig aufgebaute Stoffe sind elastischer, kleinmaschige starrer. Praktisch werden nach Angaben von H. DEWEIN (8) jedoch nie reine Formen angetroffen, sondern stets Mischformen.

Die Vernetzung wird durch Zugabe bestimmter flüßiger Stoffe erreicht, welche selbst wiederum polymerisierbar sein müssen. Im Sprachgebrauch nennt man derartige Stoffe kurz V e r n e t z e r , von denen es hunderte einzelne, unter sich verschiedene gibt (21). Bei den Polymerisationskunststoffen muß dieser Vernetzer in der monomeren Phase vorliegen, und findet sich deshalb stets in der Flüßigkeit (25).

Das Kennzeichen dieser Vernetzer ist, daß sie im monomeren Grundmolekül mehr als eine Doppelbindung tragen, im Gegensatz zu den unvernetzten Kunststoffen. Günstig verhalten sich in dieser Hinsicht die Diester von Dialkoholen mit Methacrylsäure. Als Beispiel seien genannt: Das Glykoldimethacrylat, das Diglykoldimethacrylat oder das Triäthylenglykoldimethacrylat (25).

Um beim Beispiel des Glykoldimethacrylates zu bleiben, so hat dies rund das doppelte Molekulargewicht wie das Methylmethacrylat. Bei einem Zusatz von 5 % Glykolester würden auf 95 Mol Methylmethacrylat 2,5 Mol Glykolester kommen. Dies entspräche einem Vernetzungsgrad von 0,026.

Im allgemeinen bedingen Kunststoffvernetzungen vor allem eine Verringerung der Löslichkeit, der Formbarkeit, der inneren Spannungen, der Schmelzbarkeit und eine Erhöhung der Craquelierfestigkeit sowie eine erhöhte Wasser-, Temperatur- und Formbeständigkeit, doch hängen diese Eigenschaften von der Menge und dem strukturellen Aufbau der Vernetzer ab.

Verwendet man diese Vernetzer in zu großen Mengen, so wird der Kunststoff einerseits spröde und andererseits kaum mehr anquellbar, was seine Verbindungsfestigkeit mit einem anderen Kunststoffteil ebenso wie seine Reparaturfähigkeit sehr stark vermindert. Auch die mechanischen Werte sinken bei starker Vernetzung außerordentlich ab.

In der Praxis werden daher heute nur noch Vernetzungs - mengen bis etwa 5 % zugesetzt (25). Man vernetzt jedoch zum Beispiel ein Prothesenmaterial niedriger als ein Kronen - und Brückenmaterial.

In den folgenden Versuchen wurden nun drei verschie - dene Brückenverkleidungsmaterialien verwendet:

1)	Palapont normal: (unvernetzt)	Kulzer und Co. GmbH. Bad Homburg
2)	Palapont Spezial A: (vernetzt)	Kulzer und Co. GmbH. Bad Homburg
3)	Justi-SR-C+B-Material: (kreuzgittervernetzt)	Zahnfabrik Ivoclar A.G. Schaan Liechtenstein.

Die oben angeführten Einzelheiten können für die hier verwendeten Kunststoffe nicht ins Einzelne beantwortet werden, da sie Betriebsgeheimnisse der beiden Firmen sind. Es kann nur soviel gesagt werden, daß es sich beim Palapont normal um einen unvernetzten Kunststoff, beim Palapont Spezial A um ein vernetztes und beim Justi - SR - C + B - Material, im folgenden kurz SR genannt, um ein kreuzgittervernetztes Acrylat handelt.

EXPERIMENTELLER TEIL

III. MATERIAL UND METHODIK

A. Eigene Versuchsanordnung für die Abriebprüfungen von zahnärztlichen Brückenverkleidungsmaterialien

Da keine festgelegten Vorschriften über die Abriebuntersuchungen von Kunststoffen vorhanden sind, konnten nur Vergleichsversuche unter denselben Versuchsbedingungen vorgenommen werden. Folgende Forderungen wurden an die Versuchsdurchführung gestellt:

1) Prüfung des Abriebs unter möglichst mundgerechten Verhältnissen.
2) Rhythmisch wechselnde Belastungsphasen: Stoß, Abrieb und Ruhepause.
3) Absolut fester Sitz der Prüfkörperpaare.
4) Die Prüfkörperpaare dürfen nicht durch Verkantung oder durch den eintretenden Abrieb veränderte Versuchsbedingungen schaffen.
5) Keine Verletzung der Prüfkörper durch das Einspannen, damit dadurch kein Gewichtsverlust eintritt.
6) Der Abrieb muß in feuchtem Milieu stattfinden.
7) Beibehaltung konstanter Temperatur des Schleifmittels von 30° C.
8) Keine Eindickung des Schleifmittels während des Versuches durch Verdunstung.
9) Absolut konstante Arbeitsbedingungen der Abrasionsmaschine.

Die Abrasionsmaschine

Da unseres Wissens keine Maschine existiert, die diese Forderungen alle erfüllt, sahen wir uns gezwungen, selbst eine solche zu entwerfen und zu bauen. Als Grundlage diente eine Dauerbiegemaschine der Feuerland-Werkstätten in Geroldshausen bei Würzburg. Der fertige Apparat ist 80 cm lang, 70 cm breit und 75 cm hoch (Abb. 1).

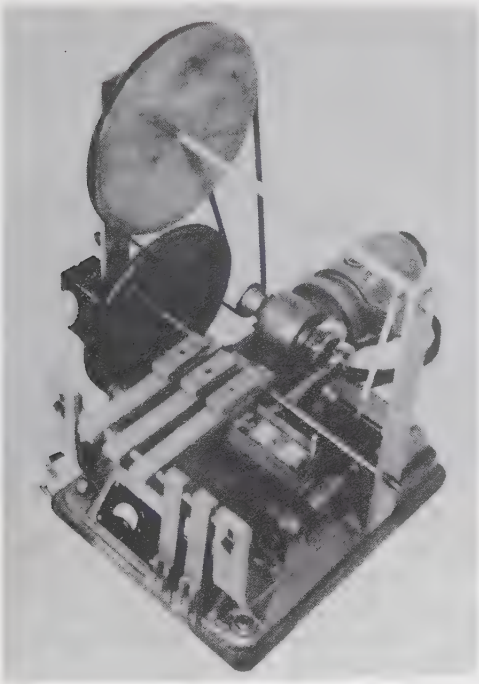

Abb. 1: Gesamtansicht der Abrasionsmaschine. Rechts sind zwei Arme nach unten geschwenkt, dadurch sind die entsprechenden Prüfkörperpaare sichtbar.

Angetrieben wird die Abriebmaschine durch einen Drehstrommotor, der an ein Getriebe mit verstellbarem Exzenter angeflanscht ist. Der Exzenter setzt über eine Pleuelstange einen Schlitten in Bewegung, der auf einer 20 mm starken Rundstahlführung geradlinige Hin- und Herbewegungen ausführt. Der Schlitten trägt eine Wanne, in der sich eine festgelagerte, jedoch herausnehmbare Schwalbenschwanzführung für fünf Prüfkörper befindet (Abb. 2). Jeder der fünf Testkörper wird

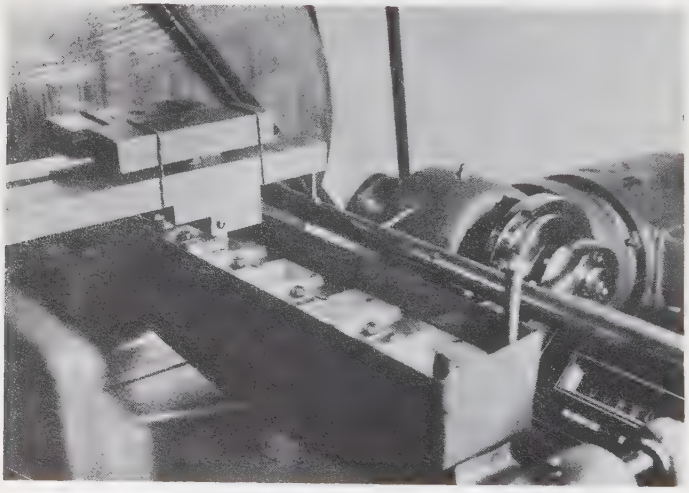

Abb. 2 : Teilansicht der Abrasionsmaschine. Links zwei Arme in Arbeitsstellung. Am rechten, von einer Nocke abgehobenen Arm, ist unten der Vierkantprüfkörper sichtbar. Rechts: Schlitten mit Führung, darauf die Wanne mit eingespannten Prüfkörpern, um die Kunststoffrahmen liegen, mittlerer ist mit Schleifmittel gefüllt.

in der Führung gegen seitliches Verschieben mit zwei Feststelleisten fixiert. Um jeden eingespannten Prüfling wird noch ein dichtabschließender Kunststoffrahmen

gelegt, in den vor jedem Versuch das Schleifmittel eingebracht wird. Somit bildet gleichsam der Prüfkörper die untere Begrenzung des Schleifmittelbades.

Die oberen Prüfkörper sind an jeweils fünf Armen befestigt, die um eine an der Stirnseite des Apparates befindlichen Achse, drehbar gelagert sind. Die Befestigung der oberen Vierkantprüfkörper ist eine mehrfach verstellbare, von allen vier Seiten breitflächige Einspannklemmvorrichtung. Auf den schwenkbaren Armen sind genau über den Prüfkörpern die Gewichte befestigt. Um in regelmäßiger Folge die Prüfkörperpaare zu entlasten und kurz darauf wieder durch einen Stoß zu belasten, werden die Arme durch eine Nockenwelle nach 25 Arbeitshuben für fünf weitere Hin- und Herbewegungen angehoben, um mit gleichmäßiger Wucht wieder zurückzufallen. Die Nockenwelle wird vom Getriebe über zwei Keilriemenscheiben mit einer Untersetzung von 30 : 1 angetrieben. Links vom unteren Keilriemenrad ist in Abbildung 1 der Drehstromschütz mit elektrischer Zeituhr zu erkennen. Auf der rechten Seite hängt über dem sechsstelligen Umdrehungszähler mit Drehnullstellung ein Kontaktthermometer , das über einen Summer jede Temperaturabweichung angibt. An der Stirnseite der Abrasionsmaschine ist die Schalttafel mit dem Amperemeter und den verschiedenen Schaltknöpfen sichtbar.

B. Die Form der Versuchskörper und ihre Herstellungsmethodik

Bei den drei zu untersuchenden Materialien handelt es sich um heiß - oder normalpolymerisierende Methacrylsäuremethylester, die auf dem Wege der Perlpolymerisation gewonnen wurden. Wir stellten sie unter jeweils zwei Verarbeitungsmethoden her, das eine Mal unter dem bisher üblichen Kochprozess, das andere Mal unter einem Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren nach W. BAUER (1), im Folgenden kurz LZ genannt. Somit ergaben sich sechs verschiedene Arten von Prüfkörpern:

1) Palapont normal
2) Palapont normal (LZ)
3) Palapont Spezial A
4) Palapont Spezial A (LZ)
5) SR
6) SR (LZ).

An die Prüfkörper mußten folgende drei grundsätzliche Bedingungen gestellt werden:

1) Konstante Größe der Abriebflächen während des ganzen Versuches
2) Konstante Herstellungsbedingungen
3) Einfache Massenherstellung.

Um die nicht ganz auszuschließende Wölbung der Abriebfläche möglichst flach zu halten (Abb. 8 und 9), war es notwendig, daß der zur Auswertung kommende untere Prüfkörper während der ganzen Abriebbewegung von der ganzen Fläche des oberen Prüfkörpers bestrichen wurde. Demzufolge mußte der untere Testkörper größer sein als die vom oberen Prüfkörper bestrichene Fläche. Dadurch wurde auch ein konstanter Flächendruck gewährleistet. Aus der

weiteren Forderung, daß der untere Prüfling wegen der Gewichtsauswertung nicht verletzt werden darf, ergab sich die in Abb. 3 dargestellte Form. Der Prüfkörper ist 6 mm hoch, 8,5 mm breit und oben 13 mm lang. Der dazugehörige obere Prüfkörper ist im Querschnitt quadratisch und hat eine Seitenlänge von 5 mm. Durch die Quaderform wurde gewährleistet, daß die Abriebfläche sich während des ganzen Versuches nicht ändert.

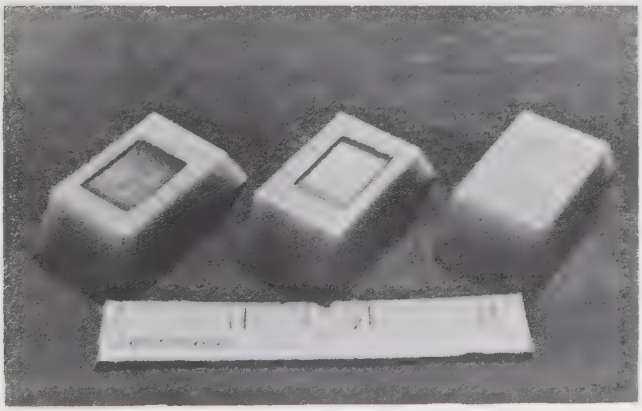

Abb. 3: Drei untere Prüfkörper, der rechte vor dem Abriebversuch, die beiden Anderen mit Abriebfurche.

Um konstante Herstellungsbedingungen und eine einfache Massenherstellung sicherzustellen, mußten jeweils die, für eine Versuchsserie nötige Anzahl von Prüfkörpern, gleichzeitig hergestellt werden. Dazu diente uns eine in Abb. 4 gezeichnete Messingform. In Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß infolge der unvermeidlichen Schrumpfung des Kunststoffes, dieser sich immer an dem verchromten Zwischenblech abhob. Demzufolge mußten wir

die Messingform so gestalten, daß die Abriebseite der Prüfkörper nach den Grundplatten der Metallform gerichtet war. Zusammengepreßt wurde die Messingform mittels zweier Schraubklemmen.

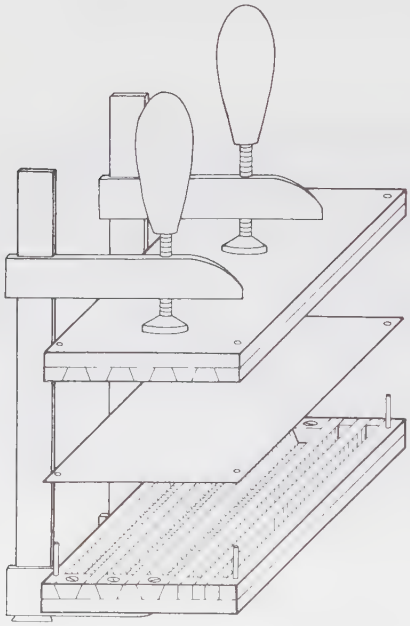

Abb.4: Zweiteilige Messingform, in der Mitte verchromtes Zwischenblech. In der unteren Platte sind außer den Profilen der unteren Prüfkörper auch die der oberen zu erkennen. Das Ganze wird mittels zweier Schraubklemmen zusammengepreßt.

Zur Herstellung einer Prüfkörperserie waren ca 75 cm^3 Kunststoffteig nötig. In den Vorversuchen wiesen die bei mittlerer bis dicker Konsistenz angerührten Kunst-

stoffe die besten Abriebergebnisse auf. Für Palapont normal und Palapont Spezial A ergab sich daraus ein Mischungsverhältnis von Pulver zu Flüßigkeit wie 2,5 : 1 und bei SR sogar ein Verhältnis von 3 : 1. Die Anquellzeit war bei der relativ großen Teigmenge und einer Zimmertemperatur von 20° C erst nach ca 45 Minuten beendet. Wird früher gepreßt, während noch nicht die gesamte monomere Flüßigkeit von dem polymeren Pulver aufgenommen ist, so tritt ein Monomerverlust ein, der gleichbedeutend mit zu trockenem Teig ist und weiße Schlieren ergibt.

Zum Stopfen hatten wir die Messingform angewärmt. Zur Erreichung einer guten Kompression des Kunststoffteiges erfolgte mehrmaliges Probepressen unter weiterer Zugabe von Material. Dieser Arbeitsgang mußte langsam, und was von besonderer Wichtigkeit war, etappenweise vor sich gehen. Die so zur Polymerisation vorbereitete Prüfkörperform wurde fest zwischen zwei Schraubklemmen gespannt.

Bei der Polymerisation von solch großen Mengen von Kunststoff ist der Zeit vor dem Kochen des Wassers besondere Wichtigkeit zuzumessen. Sie muß deshalb langsam durchschritten werden. Denn wird durch die exotherme Reaktion 100,3° C im Innern des Kunststoffes überschritten, beginnt die monomere Flüßigkeit zu sieden, was erhebliche Porositäten und Siedeblasen zur Folge hat.

So haben wir in Anlehnung an R. REHÁK (32) und H. STEINMETZ (41) uns zu folgendem Polymerisationsverfahren entschlossen: Die entgültig geschlossene Form wurde eine halbe Stunde nach dem Pressen in kaltes Wasser gestellt. Innerhalb von 30 Minuten erwärmten wir auf 70° C und verweilten 30 Minuten bei dieser Temperatur. im Laufe von weiteren 30 Minuten erhöhten wir die Temperatur auf 100° C und ließen nach einer Kochzeit von 30 Minuten die Form in diesem Wasserbad langsam abkühlen.

Das Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren nach W. BAUER (1) nahmen wir in abgeänderter Form im Memmert - Ofen vor. Dabei wurde die Temperatur zehn Stunden auf 80° C gehalten und für zwei weitere Stunden auf 100° C erhöht. Danach ließen wir die Form im ausgeschaltenen Ofen abkühlen.

Nach Erkalten der Messingform wurden die Kunststoffstäbe der Form entnommen und auf einer eingestellten Kreissäge vorsichtig zu ihrer entgültigen Gestalt auseinandergesägt.

Da wir auch den Abrieb des Kunststoffes gegenüber Gold und Porzellan nachprüfen wollten, stellten wir uns für diese Versuchsserien obere Quaderprüfkörper her. Zu diesem Zwecke gossen wir uns in der Messingform aus Palavit G die Prüfkörper aus und betteten sie in Muffeln ein. Für den Guß benützten wir das, auch bei Brückenkonstruktionen vielverwendete Degulor B.

Die Herstellung der oberen Prüfkörper aus Porzellan bereitete erhebliche Schwierigkeiten. Zunächst versuchten wir die Prüfkörper im Vakuum zu brennen. Durch die unkontrollierbare Schrumpfung der Porzellanmasse waren jedoch keine befriedigenden Ergebnisse zu erzielen. Deshalb entschlossen wir uns, aus Porzellanzähnen die Prüfkörper zuzuschleifen und nachträglich den im Innern verbleibende Hohlraum mit Porzellanbrennmasse auszufüllen und zu brennen. Um die nötige Länge der Prüfkörper zu erhalten, wurden diese mit Kunststoffsockeln versehen.

C. Die Zusammensetzung und Eigenschaften des Schleifmittels

Große Bedeutung kam bei unserem Bemühen, ein kunststoffgerechtes Prüfverfahren auszuarbeiten, dem Schleifmittel zu. Es mußte daher folgende Grundforderungen erfüllen:

1) Kunststoffverträglichkeit, darunter ist ein speichelähnliches, wässeriges Gemisch zu verstehen.
2) Ein leicht basischer pH-Wert.
3) Konstante Zusammensetzung während aller Abriebversuche.
4) Keine oder nur geringste Sedimentationsneigung während der Dauer eines Abrasionsversuches.

Als Grundsubstanz diente uns Tylose, ein feinflockiges, hellgelbes Pulver, das nach Zugabe von Wasser nach einiger Zeit einen je nach Verdünnungsgrad mehr oder weniger viskösen Schleim ergab. Die Eignung von Tylose zu unserem Zwecke mag auch daraus hervorgehen, daß es bei der Zahnpastaherstellung Verwendung findet.

Das eigentliche Schleifpulver, das wir verwendeten war reines, genormtes Siliziumcarbit, Typ SG 400 der Firma Friedrich Elbe, Bietigheim. Das schwarzgrüne Pulver besaß ein spezifisches Gewicht von 3,2, wies eine Korngröße von 20 - 40 µ auf und besaß eine Oberflächenhärte nach Moß von 9.

Die Anteile an Tylose, Wasser und Siliziumcarbit des Schleifmittels ermittelten wir in Vorversuchen. Es durfte nämlich einerseits nicht zu dünnflüßig sein, wegen der dann erfolgenden Sedimentationsneigung, andererseits mußte es noch fließen, damit das Schleifmittel während

der Abhebphase der Abrasionsmaschine zwischen die Prüfkörperpaare gelangen konnte. Zur Vermeidung eines völlig unnatürlichen Gewaltabriebes mußte der Schleifpulveranteil möglichst klein gehalten werden. Als günstigste Zusammensetzung fanden wir das Verhältnis Tylose zu Siliziumcarbit zu Wasser wie 1 zu 1 zu 15. Damit während der ganzen Abriebversuche eine absolut konstante Zusammensetzung gewährleistet wurde, haben wir die gesamte Schleifmittelmenge durch einmalige Zubereitung hergestellt. Um eine Eindickung des Schleifmittels durch Verdunstung und eine Sedimentation zu vermeiden, haben wir es in einem luftdicht verschlossenen Glasbehälter auf einer Rüttelapparatur aufbewahrt.

Zur pH-Bestimmung der Schleifflüßigkeit verwendeten wir ein Indikatorpapier. Es ergab sich ein pH-Wert von 7,4, das bedeutet, daß die Abweichung des Schleifmittels zur alkalischen Seite, im Vergleich zum Speichel gering ist.

Da das Abriebmittel praktisch undurchsichtig ist, kam für eine Viskositätsbesimmung nur ein Ostwald-Viskosimeter in Betracht. Es ergab sich eine Viskosität von η = 26,0 Poise .

D. Meßgeräte zur Bestimmung des Abriebs

Ursprünglich hatten wir die Absicht, den Abrieb nur durch die Gewichtsdifferenz vor und nach dem Abriebversuch mit Hilfe einer Analysenwaage zu messen. Bei den Vorversuchen haben wir jedoch zur schnelleren Auswertung der Ergebnisse den Abrieb mittels einer Präzisionsmeßuhr bestimmt. Es stellten sich aber während der Durchführung der Versuche geringe Abweichungen der beiden Ergebnisse ein, worauf wir noch eine dritte, elektromechanische Meßmethode ausgearbeitet haben, um so einmal zu absolut exakten Werten zu gelangen, zum Andern aber festzustellen, welches der Meßverfahren für die Abweichungen verantwortlich war. So erforderte die Auswertung des Abriebs umfangreiche und aufwendige Apparaturen. Eine Begründung des hier Erwähnten werden wir bei der Diskussion der Untersuchungsergebnisse zu geben versuchen.

1) Analysenwaage

Die hierzu verwendete Waage war eine METTLER Analysenwaage, Typ B6 der SPOERHASE K.G. in Gießen. Die Gewichtsangaben, die mittels eines kombinierten mechanisch-optischen Systems erfolgten, waren bis zu einer Genauigkeit von 0,01 mg möglich.

2) Elektronisches Meßgerät

Diese Art der Abriebsauswertung geschah auf induktiv-elektomechanischem Wege. Als Registriergerät diente uns der Oberflächentaster "Makromat", Typ 5 840 vom Institut Dr. Förster, Reutlingen (Abb. 5). Es bestand aus dem

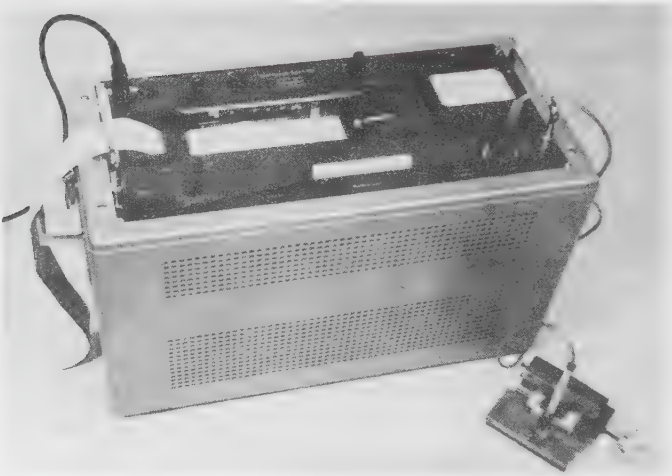

Abb. 5 : Makromat, bestehend aus Verstärkerkasten und Einspannvorrichtung für den Feinmeß-taster (rechts).

elektronischen Verstärkerkasten und einem Feinmeßtaster. Das Registriergerät war 39 cm hoch, 22 cm breit und 54 cm lang. In ihm waren enthalten: Ein Zeigerinstrument, eine Schreibvorrichtung, ein Umschalter für sieben Meß-bereiche, die bei Vollausschlag einen Bereich von ± 450 µ bis ± 7,5 µ umfassten, einen Geschwindigkeits-

regler für den Papiervorschub, eine Rückspulvorrichtung sowie eine Nullpunktsangleichung.

Der Feinmeßtaster war 12 cm lang und hatte einen Durchmesser von 9 mm . Der Tastbolzen trug eine auswechselbare Saphirspitze. Der Feinmeßtaster arbeitete induktiv und

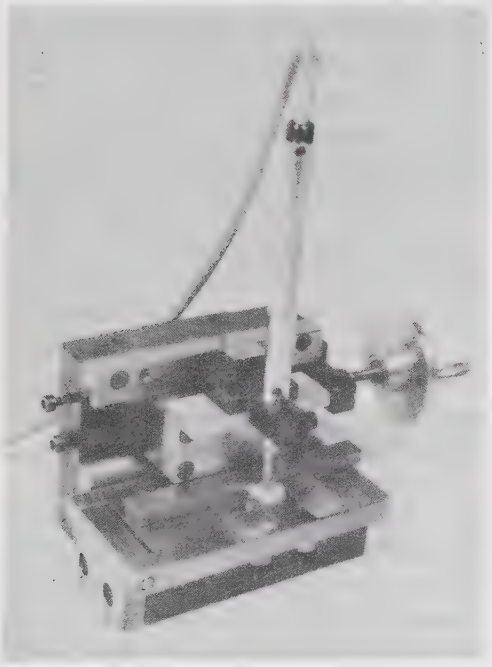

Abb. 6 : Meßtisch mit eingespanntem Prüfkörper und Feinmeßtaster.

gab seine Signale auf das kombinierte Verstärker - und Anzeigegerät. Bewirkte nun eine Dimensionsänderung eine Verschiebung des Meßtasters, so wurden dadurch zwei in einer Hochfrequenz - Brücke angeordnete Induktivitäten

so verstimmt, daß eine Spannung entstand, welche der Dimensionsänderung proportional war. Diese Spannung wurde verstärkt und als Meßwert auf einem in /u geeichten Zeigerinstrument angezeigt und durch die Schreibvorrichtung festgehalten.

Zur Durchführung von Messungen spannten wir diesen hochempfindlichen Feinmeßtaster in eine Klemmvorrichtung ein, die auf einem Support durch eine Spindel in horizontaler Richtung über einen Meßtisch bewegt werden konnte (Abb. 6).

Die Fixierung der Prüfkörper geschah mittels zweier speziell für diesen Zweck hergestellten Retentionsplatten aus Eisen, die unverschieblich auf dem Magnetmeßtisch auflagen und zwischen denen der zu messende Prüfling festgehalten wurde.

3) Präzisionsmeßuhr

Die mechanische Meßmethode führten wir mit einer Präzisionsmeßuhr der Firma LOUIS SCHOPPER, Leipzig durch. Es handelte sich um ein transportables Meßinstrument mit festem Meßtisch. Der Meßbolzen wurde mit einer, für unsere Zwecke hergestellten kegelförmigen Meßtasterspitze mit einem Öffnungswinkel der Mantellinien von 40° und mit einer Auflagefläche von 0,6 mm Durchmesser versehen. Jeder Teilstrich der Meßskala entsprach 0,01 mm, zum Zwecke des Auf- und Abrundens konnte jedoch ohne Schwierigkeit auf einen halben Teilstrich genau abgelesen werden.

IV. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. Durchführung der Versuche

Wie es sich aus den Vorversuchen ergab, traten trotz genauster Einhaltung aller oben genannten Bedingungen immer geringe Streuungen auf. Daher sahen wir uns, bei den oft verhältnismäßig geringen Abriebunterschieden der einzelnen Versuchsreihen gezwungen, eine große Zahl von Einzelabrieben pro Versuchsreihe zu machen, um statistisch gesicherte Werte zu erhalten. Wir entschlossen uns daher, 50 Abriebe pro Versuchsserie durchzuführen.

Im Nachfolgenden sollen nun die angestellten Versuche näher beschrieben werden. Jeder Prüfkörper wurde zunächst von allen Graten gesäubert, die durch die Herstellung noch vorhanden waren. Jeweils 50, zu einer Versuchsserie gehörige, gleichzeitig hergestellte und numerierte Prüfkörper wurden, ohne sich zu berühren, in Petrischalen geordnet und 24 Stunden lang in einen Trokkenschrank gebracht. Mittels eines Thermostaten regulierten wir die Temperatur auf 50° C $\pm$ 2° C ein, außerdem wurde die abgegebene Feuchtigkeit der Probekörper durch Kalziumchlorid am Boden des Ofens laufend gebunden. Anschließend kamen immer 50 Prüfkörper für eine Stunde in einen ebenfalls Kalziumchlorid enthaltenden Exsikkator, in dem sie sich auf Zimmertemperatur abkühlten.

Zur Bestimmung des Ausgangsgewichtes wurde jeder Prüfkörper einzeln mit einer Pinzette dem Exsikkator entnommen und sofort auf der Analysenwaage gewogen. Der Probekörper wurde zunächst auf die Waagschale gelegt und das Schiebefenster geschlossen, damit auch durch die immer vorhandene Luftbewegung keine Beeinflussung des Ergebnisses eintrat. Daraufhin erfolgte bei Teil-Ent-

arretierung die mechanische Wägung mittels der durch die Drehknöpfe abgehobenen Gewichte bis auf Zehntelgramm genau. Die Ermittlung der restlichen vier Dezimalstellen erfolgte optisch. Der Arretierungshebel wurde bis zum Anschlag nach links unten gedreht, worauf sich der Waagebalken einspielte. Nach ungefähr drei Schwingungen stand die projizierte Skala still. Nun wurde am Mikrometer gedreht bis ein Teilstrich der optischen Skala sich genau mit der Nullmarke deckte. Das entgültige Resultat konnte jetzt abgelesen werden. Aus Gründen der Genauigkeit haben wir vor jeder Wägung des nächsten Prüfkörpers die Nulleinstellung nachkontrolliert. Nachdem auf diese Weise bestimmten Ausgangsgewichtes konnte jetzt mit der vorne beschriebenen Abrasionsmaschine der Abrieb durchgeführt werden.

Wir haben uns bemüht unsere Abriebversuche unter möglichst mundgerechten Verhältnissen durchzuführen. Um dies zu erreichen, mußte der sich in vivo über Jahre erstreckende Abriebvorgang gezwungenerweise gerafft werden, jedoch unter möglichster Vermeidung jedes Gewaltversuches. So wurde jeweils nach 25 Arbeitsbewegungen eine Ruhepause von fünf Hin- und Herbewegungen eingelegt, die in einer, dem Kauakt im Munde analogen vertikalen Öffnungs- und Schließbewegung der aufliegenden Arme von sieben Millimetern bestand. Die Prüfkörper wurden somit einer mit regelmäßiger Wucht erfolgenden Stauchung ausgesetzt.

Der ganze Vorgang spielte sich in feuchtem Milieu ab, das heißt das Schleifmittel bestand aus einem wässrigen, dem Speichel ähnlichen Gemisch von einer, während der ganzen Versuchsdauer konstanten Temperatur von 30° C. Dies konnte nur durch Aufheizung des gesamten Versuchsraumes auf 30° C $\pm$ 2° C einwandfrei erzielt werden. Damit während des 40 Minuten dauernden Versuches auch keine

Veränderung des Schleifmittels in Form einer Eindickung durch Verdunstung eintrat, mußte gleichzeitig eine relative Luftfeuchtigkeit von 60 % herrschen. Dies erreichten wir durch laufende Verdampfung von Wasser unter Kontrolle eines Hygrometers.

Vor Beginn des Versuches mußten jedoch die oberen Prüfkörper mit Hilfe von nicht zur Auswertung kommenden unteren Prüfkörpern so eingeschliffen werden, daß von Beginn des Abriebvorganges an, sich die beiden jeweiligen Prüfkörperpaare ohne Verkantung satt berührten. Danach wurde vor jedem Versuchsbeginn die oberen Prüfkörper so eingespannt, daß die in Arbeitsstellung befindlichen fünf Arme immer waagerecht standen.

Erst nachdem alle diese vorbereitenden Maßnahmen getroffen waren, konnten immer fünf untere Prüfkörper in die Schwalbenschwanzführung eingeschoben werden. Mit Hilfe von je zwei Feststelleisten fixierten wir jeden Prüfkörper zusätzlich gegen seitliches Verschieben. Danach wurde für jeden Testkörper der zugehörige, dichtabschließende Kunststoffrahmen gelegt und in diesen das Schleifmittel eingebracht. Erst dann konnten die fünf Arme von je 1 000 g, das einem Druck von 2 000 g/cm^2 entsprach, mit den zugehörigen Gewichten eingeschwenkt werden. Daraufhin stellten wir die elektrische Zeituhr ein und setzten die Apparatur in Gang. Über die Dauer des ganzen Abrasionsvorganges bewegten sich somit die Prüfkörper in dem Schleifmittel. Dieses floß während der Öffnungs- und Schließbewegung kontinuierlich zwischen die Reibeflächen der Prüfkörperpaare und zusätzlich mit den Rührbewegungen in Form der Hin- und Herbewegung konnte die allerdings geringe Sedimentationsneigung des Schleifmittels verhindert werden.

Jeder einzelne Versuch lief über 8 000 Umdrehungen, das entspricht also 16 000 Hin - und Herbewegungen bei einer Frequenz von ca 3,3 Hertz. Die Amplitude betrug 2,8 mm .

Nach Beendigung des Abrasionsvorganges unterwarfen wir sämtliche Prüfkörper einer eingehenden Reinigung von allen Schleifmittelresten und brachten sie wieder 24 Stunden in den Trockenschrank. Anschließend wurde das Endgewicht auf dieselbe Weise wie das Ausgangsgewicht bestimmt und damit lag die Gewichtsdifferenz, das heißt die Größe des Abriebs in Gramm fest (Tab. 1).

Zur Ermittlung des tiefsten Punktes der Abriebfurche zogen wir das elektrische Meßverfahren heran. Eine halbe Stunde vor Beginn der Meßung wurde der Makromat eingeschaltet und nach Beendigung dieser Anheizzeit die abzutastenden Prüfkörper auf die oben beschriebene Weise, mit Hilfe der Retentionsplatten aus Eisen auf dem Magnettisch fixiert. Mit einiger Übung gelang es den Taster mittels der Spindel über den auf dem Meß - tisch befestigten Prüfkörper mit annähernd gleich - förmiger Geschwindigkeit zu bewegen.

Abb. 7 : Oberflächenprofilkurve eines Prüfkörpers in Längsrichtung.

Von jedem Prüfkörper wurden jeweils an verschiedenen Stellen zwei Profilkurven in Längstrichtung (Abb.7) und durch Drehen des Testkörpers um 90°, zwei Profilkurven in Querrichtung (Abb.8) aufgezeichnet.

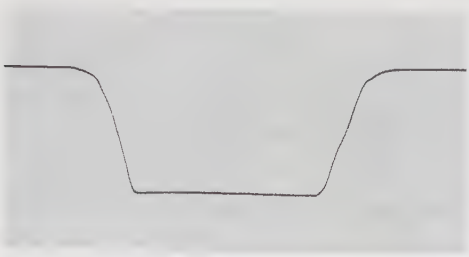

Abb. 8 : Oberflächenprofilkurve eines Prüfkörpers in Querrichtung.

Die Mittelwerte der vier Differenzen zwischen Ausgangsniveau und den tiefsten Stellen ergaben die Tiefe der Abriebfurche. Bei den Meßungen konnte bei allen Prüfkörpern der Meßbereich von ± 300 µ zu Grunde gelegt werden, das heißt es fand eine 50 fache Vertikalvergrößerung statt. Somit entsprach hierbei ein Millimeter des Registrierpapieres einer Auslenkung des Tasters um 20 µ. In Abb. 7 weist die Abrasion also eine Gesamttiefe von 480 µ, in Abb. 8 von 460 µ auf.

Bei dem mechanischen Meßverfahren wird im Gegensatz zu der elektrischen Meßmethode nicht der tiefste Punkt der Abrasionsfurche ermittelt, sondern die mittlere Abrasionstiefe. Zu diesem Zwecke wurde das Ausgangsniveau mittels der Präzisionsmeßuhr am oberen Rand aller vier Seiten der Vertiefung gemessen, wie es in Abb. 9 schematisch dargestellt ist, und der Mittelwert errechnet.

Diesen vier oberen Meßpunkten lagen am unteren Rand der Abrasionsstufe vier entsprechende gegenüber und an der tiefsten Stelle in der Mitte der Abrasionsfurche lag der fünfte Meßpunkt, aus denen zusammen

Abb. 9 : Prüfkörper von oben (schematisch) mit rechteckig dargestellter Abrasionsfurche und Lage der Meßpunkte.

sich der zweite Mittelwert ergab. An jedem Prüfkörper wurden zwei solcher Meßungen durchgeführt, das heißt, der Mittelwert zweier Niveaudifferenzen ergab die mittlere Abrasionstiefe, die somit aus 18 Einzelmeßungen hervorging.

Die Gegenüberstellung der Werte der mittleren Abrasionstiefe mit den des tiefsten Punktes der Abrasionsfurche ergaben jeweils eine sich entsprechende Differenz, die es erlaubte aus beiden Meßmethoden nochmals den Mittelwert zu errechnen und somit ein gesichertes Ergebnis der Abrasionstiefe in hundertstel Millimetern zu erhalten (Tab. 2). Insgesamt waren somit zur Auswertung aller Versuchsreihen 15600 Einzelmeßungen notwendig.

B Abriebergebnisse

1) Erläuterung der Versuchsreihen

Wie wir schon bei der Herstellung der Prüfkörper erwähnt haben, stellten wir sechs verschiedene Prüfkörperarten her. Hinzu kam noch eine weitere Serie, die 48 Stunden einer Bestrahlung mit UV-Licht aus einer Entfernung von 35 cm ausgesetzt wurde. Wir wollten damit die von G. JANKE (22) aufgestellte Behauptung der Beeinflußung der Abriebfestigkeit durch ultraviolettes Licht untersuchen, die bei Kunststoffarbeiten im Frontzahngebiet eine Beeinträchtigung der Abriebfestigkeit zur Folge haben soll.

Zum schnelleren Verständnis seien die sieben verschiedenen Prüfkörperarten nochmals erwähnt:

1) Palapont normal
2) Palapont normal (LZ)
3) Palapont Spezial A
4) Palapont Spezial A (LZ)
5) SR
6) SR (LZ)
7) SR (UV)

Wir haben nun 13 verschiedene Versuchsreihen zu je 50 Einzelabrieben durchgeführt, wobei jeweils die zuerst genannte Prüfkörperart als oberer Testkörper ausgebildet war und die zweitgenannte Prüfkörperart die unteren Prüflinge darstellten. Die technischen Bedingungen der Abrasionsmaschine ermöglichten jedoch nur die Auswertung der im unteren, beweglichen Teil befestigten Prüfkörper.

Somit kamen die 13 nachfolgenden Versuchsreihen zur Durchführung:

1)	Palapont normal	→ SR
2)	Palapont normal	→ Palapont normal
3)	Palapont normal	→ Palapont Spezial A
4)	SR	→ SR
5)	SR	→ Palapont normal
6)	SR	→ Palapont Spezial A
7)	Palapont normal	→ Palapont normal (LZ)
8)	Palapont normal	→ Palapont Spezial A (LZ)
9)	SR	→ SR (LZ)
10)	SR	→ SR (UV)
11)	Gold	→ SR
12)	Gold	→ Palapont normal
13)	Gold	→ Palapont Spezial A

Die Porzellan - Testkörper waren den Abrasionsbelastungen nicht gewachsen und splitterten teilweise schon nach den ersten Schleifbewegungen. Ein solches Verhalten konnte nicht weiter überraschen, den es ist eine längst klinisch erhärtete Tatsache, daß Porzellan wegen des Fehlens jeglicher Elastizität überaus empfindlich gegenüber kerbender und abscherender Beanspruchung ist.

In Tab. 1 sind die gesamten Gewichtsdifferenzen, das heißt, der Abrieb in Gramm aufgeführt und in Tab. 2 haben wir die Abrasionstiefen in hundertstel Millimetern von sämtlichen Versuchsreihen zusammengestellt. Wegen der vorne schon angedeuteten geringen Abweichungen der beiden Meßmethoden haben wir uns, aus noch zu begründenden Ursachen, zur statistischen Auswertung der Abrasionstiefen entschlossen.

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm				
	P → Sp(LZ)	P → P(LZ)	SR → SR	SR → SR(UV)	SR → SR(LZ)
1	0,01962	0,01883	0,01729	0,01829	0,01537
2	0,01694	0,01635	0,01745	0,01751	0,01692
3	0,01716	0,01689	0,01705	0,01697	0,01613
4	0,01853	0,01655	0,01719	0,01704	0,01746
5	0,01764	0,01419	0,01964	0,01732	0,01678
6	0,01750	0,01672	0,01735	0,01745	0,01709
7	0,01685	0,01649	0,01746	0,01934	0,01725
8	0,01621	0,01545	0,01691	0,01767	0,01632
9	0,01693	0,01759	0,01761	0,01805	0,01623
10	0,01805	0,01506	0,01625	0,01786	0,01670
11	0,01627	0,01696	0,01669	0,01815	0,01847
12	0,01537	0,01667	0,01768	0,01927	0,01725
13	0,01552	0,01625	0,01766	0,01808	0,01669
14	0,01410	0,01807	0,01731	0,01835	0,01699
15	0,01634	0,01749	0,01655	0,01847	0,01737
16	0,01714	0,01769	0,01672	0,01780	0,01584
17	0,01747	0,01726	0,01775	0,01803	0,01787
18	0,01649	0,01597	0,01767	0,01791	0,01738
19	0,01785	0,01786	0,01719	0,01875	0,02319
20	0,01695	0,01689	0,01745	0,01740	0,01712
21	0,01679	0,01593	0,01781	0,01809	0,01677
22	0,01603	0,01636	0,01805	0,01670	0,01773
23	0,01634	0,01833	0,01778	0,01711	0,01703
24	0,01763	0,01612	0,01869	0,01906	0,01700
25	0,01683	0,01686	0,01763	0,01853	0,01681
26	0,01773	0,01673	0,01765	0,01786	0,01554
27	0,01498	0,01761	0,01791	0,01891	0,01657
28	0,01570	0,01623	0,01756	0,01850	0,01464
29	0,01670	0,01712	0,01756	0,01742	0,01704
30	0,01689	0,01579	0,01653	0,01872	0,01650
31	0,01685	0,01573	0,01806	0,01839	0,01602
32	0,01513	0,01566	0,01737	0,01902	0,01688

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm				
	P → Sp(LZ)	P → P(LZ)	SR → SR	SR → SR(UV)	SR → SR(LZ)
33	0,01692	0,01494	0,01787	0,01607	0,01662
34	0,01631	0,01566	0,01736	0,01834	0,01667
35	0,01679	0,01518	0,01719	0,01824	0,01691
36	0,01785	0,01590	0,01783	0,01833	0,01747
37	0,01700	0,01700	0,01814	0,01834	0,01713
38	0,01734	0,01689	0,01680	0,01790	0,01663
39	0,01625	0,01782	0,01759	0,01904	0,01703
40	0,01546	0,01592	0,01713	0,01780	0,01651
41	0,01501	0,01740	0,01780	0,01832	0,01674
42	0,01700	0,01801	0,01815	0,01843	0,01698
43	0,01479	0,01775	0,01832	0,01704	0,01639
44	0,01651	0,01819	0,01716	0,01846	0,01520
45	0,01711	0,01636	0,01749	0,01756	0,01664
46	0,01806	0,01625	0,01831	0,01748	0,01686
47	0,01577	0,01831	0,01750	0,01817	0,01731
48	0,01705	0,01721	0,01718	0,01735	0,01627
49	0,01725	0,01606	0,01783	0,01789	0,01678
50	0,01668	0,01628	0,01773	0,01769	0,01682

Tab. 1 : (1, Teil) Der Abrieb in Gramm der folgenden Versuchsreihen: P → Sp(LZ), P → P(LZ), SR → SR, SR → SR(UV), und SR → SR(LZ).

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm			
	P → SR	SR → P	P → P	SR → Sp
1	0,01713	0,01801	0,01964	0,01782
2	0,01814	0,01736	0,01835	0,01759
3	0,01775	0,01666	0,01841	0,01675
4	0,01807	0,01595	0,01782	0,01756
5	0,01680	0,01719	0,01794	0,01738
6	0,01748	0,01818	0,01937	0,01769
7	0,01869	0,01693	0,01843	0,01569
8	0,01805	0,01758	0,01849	0,01793
9	0,01693	0,01770	0,01756	0,01703
10	0,01666	0,01655	0,01725	0,01765
11	0,01730	0,01766	0,01673	0,01725
12	0,01716	0,01786	0,01863	0,01751
13	0,01691	0,01730	0,01741	0,01659
14	0,01808	0,01781	0,01926	0,01716
15	0,01731	0,01814	0,01724	0,01758
16	0,01767	0,01674	0,01649	0,01707
17	0,01643	0,01718	0,01656	0,01669
18	0,01672	0,01638	0,01723	0,01615
19	0,01783	0,01641	0,01782	0,01700
20	0,01675	0,01648	0,01832	0,01741
21	0,01715	0,01676	0,01917	0,01717
22	0,01654	0,01748	0,01733	0,01613
23	0,01785	0,01592	0,01812	0,01695
24	0,02056	0,01706	0,01746	0,01681
25	0,01732	0,01675	0,01821	0,01683
26	0,01635	0,01673	0,01731	0,01652
27	0,01751	0,01666	0,01785	0,01670
28	0,01873	0,01611	0,01661	0,01656
29	0,01779	0,01666	0,01723	0,01711
30	0,01635	0,01618	0,01807	0,01715
31	0,01755	0,01584	0,01679	0,01738
32	0,01643	0,01680	0,01979	0,01738

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm			
	P → SR	SR → P	P → P	SR → Sp
33	0,01751	0,01686	0,01645	0,01710
34	0,01925	0,01672	0,01829	0,01818
35	0,01594	0,01589	0,01813	0,01735
36	0,01756	0,01589	0,01714	0,01728
37	0,01693	0,01671	0,01922	0,01718
38	0,01563	0,01705	0,01738	0,01662
39	0,01868	0,01723	0,01729	0,01685
40	0,01557	0,01860	0,01867	0,01711
41	0,01689	0,01549	0,01903	0,01900
42	0,01746	0,01720	0,01676	0,01546
43	0,01579	0,01689	0,01716	0,01766
44	0,01673	0,01702	0,01779	0,01807
45	0,01954	0,01672	0,01586	0,01790
46	0,01649	0,01668	0,01686	0,01808
47	0,01638	0,01658	0,01727	0,01781
48	0,01658	0,01570	0,01719	0,01631
49	0,01851	0,01719	0,01824	0,01819
50	0,01613	0,01618	0,01656	0,01721

Tab. 1: (2. Teil) Der Abrieb in Gramm der folgenden Versuchsreihen: P → SR, SR → P, P → P, und SR → Sp.

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm			
	P → Sp	Au → P	Au → SR	Au → Sp
1	0,01785	0,02261	0,02051	0,02290
2	0,01768	0,02245	0,01901	0,02303
3	0,01808	0,02173	0,02006	0,02283
4	0,01754	0,02210	0,02078	0,02342
5	0,01726	0,02167	0,02035	0,02330
6	0,01646	0,02112	0,02285	0,02392
7	0,01741	0,02168	0,02147	0,02515
8	0,01783	0,02114	0,02250	0,02415
9	0,01817	0,02117	0,02146	0,02439
10	0,01780	0,02185	0,02147	0,02508
11	0,01828	0,02125	0,02306	0,02429
12	0,01767	0,02140	0,02252	0,02384
13	0,01829	0,02128	0,02160	0,02339
14	0,01672	0,02154	0,02216	0,02466
15	0,01775	0,02135	0,02235	0,02411
16	0,01812	0,02117	0,02327	0,02397
17	0,01693	0,02184	0,02096	0,02391
18	0,01631	0,02132	0,02170	0,02256
19	0,01839	0,02202	0,02282	0,02400
20	0,01923	0,02108	0,02242	0,02278
21	0,01706	0,02152	0,02343	0,02316
22	0,01784	0,02167	0,02292	0,02333
23	0,01837	0,02109	0,02274	0,02264
24	0,01817	0,02137	0,02303	0,02230
25	0,01675	0,02228	0,02120	0,02333
26	0,01679	0,02137	0,02304	0,02360
27	0,01748	0,02140	0,02341	0,02320
28	0,01828	0,02053	0,02239	0,02222
29	0,01846	0,02133	0,02289	0,02323
30	0,01821	0,02187	0,02288	0,02286
31	0,01791	0,02069	0,02356	0,02202
32	0,01748	0,02192	0,02367	0,02187

Nr.d. Prüfk	Abrieb in Gramm			
	P → Sp	Au → P	Au → SR	Au → Sp
33	0,01678	0,02169	0,02228	0,02225
34	0,01824	0,02173	0,02408	0,02349
35	0,01959	0,02120	0,02278	0,02304
36	0,01733	0,02184	0,02402	0,02325
37	0,01691	0,02136	0,02330	0,02323
38	0,01824	0,02102	0,02216	0,02276
39	0,01765	0,02202	0,02308	0,02354
40	0,01677	0,02172	0,02297	0,02298
41	0,01818	0,02272	0,02336	0,02295
42	0,01731	0,02198	0,02270	0,02334
43	0,01709	0,02216	0,02283	0,02226
44	0,01923	0,02204	0,02310	0,02373
45	0,01656	0,02156	0,02274	0,02395
46	0,01789	0,02236	0,02365	0,02370
47	0,01727	0,02175	0,02321	0,02395
48	0,01719	0,02199	0,02768	0,02306
49	0,01689	0,02170	0,02289	0,02385
50	0,01739	0,02139	0,02309	0,02327

Tab. 1 : (3. Teil) Der Abrieb in Gramm der folgenden Versuchsreihen: P → Sp, Au → P, Au → SR und Au → Sp.

Nr.d. Prüfk	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter				
	P → Sp(LZ)	P → P(LZ)	SR → SR	SR → SR(UV)	SR → SR(LZ)
1	46	37	32	35	37
2	35	34	34	38,5	40,5
3	36	33,5	36	36	38
4	43	36	39	37	40
5	36	30	34,5	38	40
6	34,5	38	34	35,5	36
7	32	33,5	37	42,5	41,5
8	32	33	38	39	39,5
9	31	41	39	39,5	39
10	32,5	33	36,5	38,5	41,5
11	30	37,5	37,5	38	35
12	31,5	38,5	39	42	44,5
13	34	32	39	38,5	40,5
14	30	40	39	39	38
15	36	38	33	39	40
16	36,5	41	38,5	36	35
17	34,5	41	38	40	43,5
18	34	38,5	39	37	41
19	39	39	38,5	41,5	44
20	35	33	36	34	41,5
21	35	38	39,5	36,5	36
22	31,5	36	34,5	34	40
23	36	37	41,5	35	41,5
24	38	39	39	41,5	38
25	36	31,5	36	41	40
26	36	33	39	35	33
27	29	39	36,5	40,5	38,5
28	31,5	34	37	40	31
29	38	37	40	35	39,5
30	37	33	36	40	37
31	37	37	37	36	34,5
32	34	39	39,5	43,5	39

Nr.d. Prüfk	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter				
	P → Sp(LZ)	P → P(LZ)	SR → SR	SR → SR(UV)	SR → SR(LZ)
33	37	34	41,5	33	38
34	34	38	36,5	38	38
35	33	33	39,5	39,5	38
36	36	32	36	35,5	40,5
37	35	34	40	41,5	39
38	37,5	36,5	39	37,5	39,5
39	36	37	38	41	40
40	30	36	37	37,5	38
41	33	36,5	37	36	38,5
42	34,5	37	41	41	38
43	31,5	38	41	37	38
44	36	43	38	41	34
45	38	31	40	38	37
46	40,5	35	37,5	34	37,5
47	35	42,5	37,5	39	39
48	40	40	39	39	36
49	37	40	39	39	38
50	35	37,5	37	38,5	38,5
$\bar{x}$	35	36,5	37,5	38	38,5
s	± 3,742	± 0,857	± 3,408	± 3,654	± 3,301
$s_{\bar{x}}$	± 0,529	± 0,121	± 0,481	± 0,516	± 0,466

Tab. 2: (1. Teil) Abrasionstiefen in 1/100 Millimeter der folgenden Versuchsserien: P → Sp(LZ), P → P(LZ), SR → SR, SR → SR(UV) und SR → SR(LZ).

Nr.d. Prüfk	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter			
	P → SR	SR → P	P → P	SR → Sp
1	37	36,5	44,5	41
2	42	38	40,5	40,5
3	38	35	36,5	39
4	45	36	37	41,5
5	39	38	37,5	39,5
6	41	35,5	42	39,5
7	41,5	41,5	42	35
8	37,5	40	39	41
9	41,5	38	40	40
10	35,5	39	37	39
11	40	38	40,5	39
12	38,5	39	41	41
13	38	41	40,5	40
14	45	39,5	41,5	41,5
15	39,5	42	37	41
16	38	38	40,5	39
17	40	41	36,5	39
18	37	41	38	36,5
19	43,5	40	36,5	40
20	38	39	36	39,5
21	37	38,5	43,5	40,5
22	30	41	39,5	36
23	36	35	38	40
24	46	41	38,5	39,5
25	32	39	37,5	39
26	42	38	39	36
27	40	39,5	39	38
28	37	39	39	40,5
29	43	39	41	40
30	30	40	39	38
31	40	35	40	41
32	40	41	42	41

Nr. des Prüfk.	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter			
	P → SR	SR → P	P → P	SR → Sp
33	36	40	33	40
34	43	40	41	42,5
35	35,5	38	43	39
36	40	36,5	38,5	41
37	40,5	39,5	45	37
38	35	41	35	38
39	42,5	42	45	39,5
40	29,5	40	44	40
41	35	35	44,5	42
42	36,5	41	40,5	33,5
43	40	40	36	41,5
44	31,5	41	39	43
45	34	40	35,5	40
46	37	38,5	39,5	43,5
47	39	40	39	43,5
48	38,5	40	38	42
49	43	41	40,5	42
50	31,5	39,5	38	40
$\bar{x}$	38,5	39	39,5	40
s	± 2,973	± 1,347	± 2,725	± 1,984
$s_{\bar{x}}$	± 0,420	± 0,190	± 0,385	± 0,280

Tab. 2: (2. Teil) Abrasionstiefen in 1/100 Millimeter der folgenden Versuchsserien: P → SR, SR → P, P → P, und SR → Sp.

Nr.d. Prüfk	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter			
	P → Sp	Au → P	Au → SR	Au → Sp
1	43,5	47	41,5	50
2	34,5	50	41	52
3	35,5	50	46,5	55
4	42	51	46	53
5	38,5	47,5	45	50
6	40,5	47	48	51
7	40,5	48	47	54,5
8	41,5	51	53	58
9	43,5	49	47,5	55
10	40	49	46	55
11	43,5	47	49,5	51
12	41,5	48,5	49	53
13	42,5	50	50	53,5
14	38	50	49,5	56
15	39	47	50	54
16	40	47	49,5	50,5
17	43	47	44	54
18	40	50	49,5	52
19	45,5	47,5	53,5	53
20	45	45	50,5	50
21	46	45	50,5	51
22	47,5	47	52	51
23	45	49	55	52,5
24	43,5	46,5	52	51
25	39	50	47	50,5
26	40,5	44	52	51
27	41,5	49	51	49
28	41,5	48	53,5	50,5
29	46	46,5	54	51
30	45	47	51	48,5
31	43	46,5	53	46
32	39	48,5	54,5	48

Nr.d. Prüfk	Abrasionstiefe in 1/100 Millimeter			
	P → Sp	Au → P	Au → SR	Au → Sp
33	38,5	51	54	50,5
34	44,5	50,5	56	52
35	39	47	50,5	50,5
36	43,5	46	52	49
37	39	46	52,5	53,5
38	42	49	52,5	55
39	43	50	54	51,5
40	37,5	46	52	49
41	43	48	51	48,5
42	42	50	49	50
43	41	54,5	54	51
44	49	48	54	52
45	36,5	50	51	51
46	43,5	47	51	51
47	41	47	50	43,5
48	36	51	54	53
49	40,5	49	53	51,5
50	38,5	47	52	51
$\bar{x}$	41,5	48,5	50,5	51,5
s	± 2,955	± 2,907	± 3,347	± 3,823
$s_{\bar{x}}$	± 0,413	± 0,411	± 0,473	± 0,540

Tab. 2: (3. Teil) Abrasionstiefen in 1/100 Millimeter der folgenden Versuchsserien: P → Sp, Au → P, Au → SR und Au → Sp.

2) Statistische Auswertung der Versuchsreihen

Es ist üblich, die statistische Berechnung zunächst nach der Frage der Mittelwerte einzuleiten. Zu diesem Zweck wird im allgemeinen das arithmetische Mittel ($\bar{x}$) angegeben, das aus der Summe der jeweiligen Einzelwerte (x_1, x_2 ...) dividiert durch die Anzahl dieser Werte (N) entsteht:

$$\text{Arithmetischer Mittelwert } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 \dots + x_N}{N}$$

Die mittlere Abweichung (s) oder Standartabweichung wird auf das arithmetische Mittel bezogen und charakterisiert die Ausbreitung oder Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Ist diese Standartabweichung im Verhältnis zu den gemessenen Werten sehr groß, so besagt sie uns, daß eine große Streuung der Einzelwerte um den arithmetischen Mittelwert vorliegt. Diese Standartabweichung wird einmal berechnet aus der Summe der Quadrate der Einzelwerte minus dem arithmetischen Mittel, multipliziert mit der Summe der Einzelwerte, dividiert durch N - 1; aus dem gesamten Wert wird nun noch die Quadratwurzel gezogen, somit ist also die

$$\text{Standartabweichung } s = \pm \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x}\ \Sigma x_i}{N - 1}}$$

Die von uns gemessenen Stichprobenwerte könnten von Zufällen beeinflußt werden, sodaß diese Werte unterschiedlich sind von der Grundgesamtheit aller Abrieb-

versuche. Je stärker also die Streuung ist, umso stärker wird auch unsere Stichprobe davon beeinflußt sein. Die Standartabweichung des Mittelwertes gibt nun die Grenzen an, innerhalb derer das arithmetische Mittel der Grundgesamtheit zu suchen wäre. Aus diesem Grunde wird nun die Standartabweichung des Mittelwertes ($s_{\bar{x}}$) aus der Standartabweichung, dividiert durch die Quadratwurzel aus der Anzahl der Einzelmeßungen, berechnet.

Standartabweichung des Mittelwertes

$$s_{\bar{x}} = \pm \frac{s}{\sqrt{N}} = \pm \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \bar{x} \Sigma x_i}{N (N - 1)}}$$

Das arithmetische Mittel, die Standartabweichung der Einzelwerte und die Standartabweichung des Mittelwertes haben wir für jede Versuchsreihe zusätzlich in der Tab. 2 angegeben.

In der graphischen Darstellung Abb. 10 sind die arithmetischen Mittelwerte der Abrasionstiefe der einzelnen Versuchsreihen dargestellt, und zwar ist die Tiefe der Abrasionsfurchen in hundertstel Millimeter auf der Ordinate aufgetragen und die einzelnen Versuchsreihen auf der Abszisse. Mit zunehmender Größe des arithmetischen Mittelwertes nimmt nun die Abriebfestigkeit des jeweiligen Kunststoffes gegenüber dem entsprechenden Material ab.

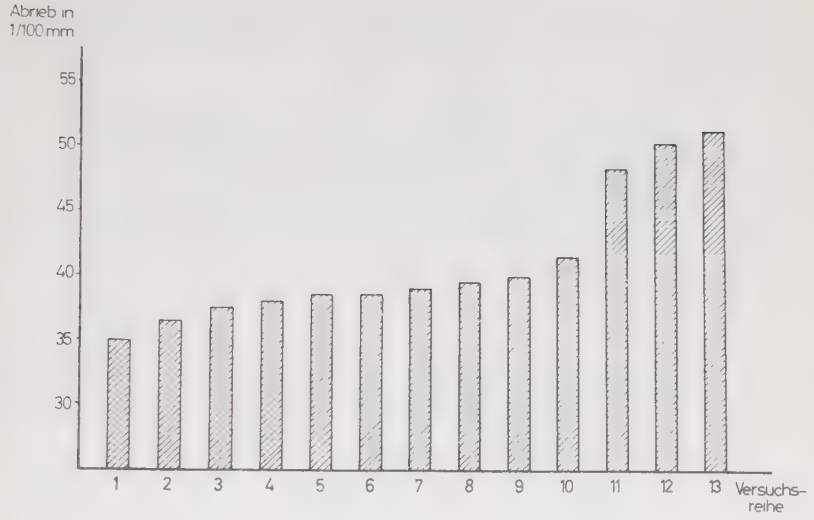

Abb. 10 : Graphische Darstellung der arithmetischen Mittelwerte der verschiedenen Versuchsreihen. Erklärung siehe Text.

Es ergab sich nun bei den 13 durchgeführten Versuchsserien folgende Reihenfolge der Abnahme der Abrasionsfestigkeit (Abb. 10):

1)	Palapont normal	⟶	Palapont Spezial A (LZ)	(35)
2)	Palapont normal	⟶	Palapont normal (LZ)	(36,5)
3)	SR	⟶	SR	(37,5)
4)	SR	⟶	SR (UV)	(38)
5)	SR	⟶	SR (LZ)	(38,5)
6)	Palapont normal	⟶	SR	(38,5)
7)	SR	⟶	Palapont normal	(39)
8)	Palapont normal	⟶	Palapont normal	(39,5)
9)	SR	⟶	Palapont Spezial A	(40)
10)	Palapont normal	⟶	Palapont Spezial A	(41,5)
11)	Gold	⟶	Palapont normal	(48,5)
12)	Gold	⟶	SR	(50,5)
13)	Gold	⟶	Palapont Spezial A	(51,5)

Die hinter jeder Versuchsreihe in Klammer hinzugefügte Zahl gibt das arithmetische Mittel des Abriebs in hundertstel Millimetern wieder.

Bei den hier vorliegenden Abriebversuchen ist es noch von Interesse, etwas darüber auszusagen, wie die Differenz zwischen jeweils zwei Versuchsserien beschaffen ist. Der Statistiker fragt, ob sie "signifikant" sind. Dies geschieht mit Hilfe des t-Testes:

$$t = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{(\Sigma x_i^2 - \bar{x} \cdot \Sigma x_i)_a + (\Sigma x_i^2 - \bar{x} \cdot \Sigma x_i)_b}{N_a + N_b - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{N_a \cdot N_b}{N_a + N_b}}$$

Wir erhalten hiermit einen Zahlenwert, mit dessen Hilfe man die Irrtumswahrscheinlichkeit P in Prozent aus Tabellen entnehmen kann. Diese macht uns die Aussage, ob der Unterschied völlig zuverlässig oder völlig unsicher ist, man sagt, ob die Differenz zweier Ergebnisse signifikant oder nicht signifikant unterschiedlich ist.

Um die Frage nach der Signifikanz von Unterschieden zwischen den Mittelwerten zweier Meßreihen beantworten zu können, haben wir zwischen folgenden Versuchsreihen die t-Testberechnung ausgeführt:

1) Zwischen
   Palapont normal ⟶ Palapont normal
   und
   Palapont normal ⟶ Palapont normal (LZ).

Es ergab sich ein t-Wert von 7,42, das entspricht einer Irrtumswahrscheinlichkeit P von weniger als 0,1 %. Die Ergebnisse sind also mit 99,9 % Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich.

2) Zwischen
SR ⟶ SR (LZ)
und
Palapont normal ⟶ Palapont normal (LZ).

Der t - Wert von 4,15 entspricht einer Irrtums - wahrscheinlichkeit P von ebenfalls 0,1 %. Die Mittelwerte sind also mit 99,9 % Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich.

3) Zwischen
Gold ⟶ SR
und
Gold ⟶ Palapont normal.

Der daraus sich ergebende t - Wert von 3,19 entspricht einem P von 0,2 %, die Meßreihen sind somit mit 99,8 % Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich.

4) Zwischen
Palapont normal ⟶ Palapont normal (LZ)
und
Palapont normal ⟶ Palapont SpezialA(LZ).

Es ergab sich für den t - Wert 2,76 und für P = 1 %, das heißt die Mittelwerte sind auch hier noch mit 99,0 % Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich.

5) Zwischen
SR ⟶ SR (LZ)
und
SR ⟶ SR.

Aus diesen beiden Versuchsreihen resultierte ein t - Wert von 1,49, das heißt, diese beiden Versuchsreihen sind nicht signifikant unterschiedlich.

6) Diese beiden letzten Unterschiedsberechnungen zwischen
SR ⟶ Palapont normal
und
Palapont normal ⟶ SR
einerseits und zwischen

7) SR ⟶ SR (UV)
und
SR ⟶ SR

andererseits ergaben erwartungsgemäß ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

An dieser Stelle sei nochmals ganz deutlich darauf hingewiesen, daß die Signifikanz von Unterschieden zweier Meßreihen nichts über die Genauigkeit der Einzelergebnisse der Versuchsreihen aussagt, sondern nur über eindeutige, das heißt signifikante Unterschiede zwischen den beiden miteinander verglichenen Meßreihen. Dieser Unterschied ist einmal abhängig von der Differenz der beiden arithmetischen Mittelwerten und zum andern von der Größe der jeweiligen Standartabweichungen.

Eine Deutung der Ursachen dieser Abriebergebnisse und die sich daraus ergebende Folgerungen versuchten wir bei der Diskussion der Untersuchungsergebnisse zu geben.

C. Untersuchungen über die Vickershärte

Unter Vickershärte (Din 50133) wird der Widerstand des Prüfmaterials gegen das Eindringen einer regelmäßig vierseitigen Pyramide mit einem Öffnungswinkel, das heißt, der Winkel zwischen je zwei gegenüberliegenden Flächen, der 136° beträgt, verstanden. Diese Pyramide erzeugt in der Aufsicht einen quadratischen Eindruck. Aus der mittleren Länge der Diagonalen d wird die Eindruckfläche berechnet gemäß der Formel:

$$O = \frac{d^2}{22 \cos 22^{\circ}}$$

Die Vickershärte HV ist das Verhältnis der aufgewendeten Prüfkraft P (in kg) zu der erzeugten Eindruckfläche (in mm^2). Somit ist:

$$HV = \frac{P \cdot 1{,}8544}{d^2} \quad (kg/mm^2)$$

Somit steht die Vickershärte HV zur Diagonalenlänge d in einem reziproken Verhältnis, das heißt mit zunehmender Vickershärte nimmt die Diagonalenlänge ab.

Für die praktische Anwendung stehen Tafeln zur Verfügung, aus denen für jede Eindruckdiagonale die zugehörige Vickershärte gefunden werden kann.

1) Prüfgerät

Bei dem Kleinhärtemesser " Durimet " der Firma Ernst Leitz (Abb. 11) handelt es sich um ein Gerät, in dem ein Mikroskop und ein Härteprüfer vereint sind.

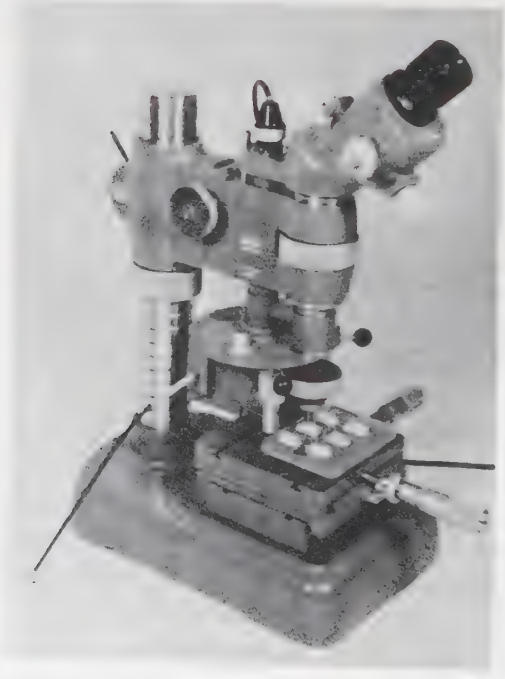

Abb. 11: Kleinhärtemesser "Durimet". Links Drahtauslöser der Eindringvorrichtung sichtbar, auf dem Meßtisch Glasplatte mit sechs Prüfkörpern.

Das Okular stellt ein Feinmeßokular dar, das zunächst um seine Achse gedreht werden kann, außerdem sind Einstellschrauben für seine Querverschiebung, Längsver-

schiebung und für die Teilung des Feinmeßokulars vorhanden, die erst eine genaue Ausmeßung der erhaltenen Eindrücke gewährleisten. Die Revolverscheibe trägt außer einem Übersichtsobjektiv und einem Meßobjektiv noch eine Eindringvorrichtung des Prüfdiamanten, der durch einen Drahtauslöser über eine Ölbremse auf das Objekt eindringt. Oberhalb der Eindringvorrichtung befindet sich ein Auflageteller für die Prüfgewichte, sodaß je nach dem, Eindrücke bei Prüfkräften von 15 g bis 2 000 g vorgenommen werden können. Zur Vermeidung von Kippfehlern liegt das Objekt fest auf einer Dreipunktauflage auf dem mit zwei Feinmeßspindeln verstellbaren Meßtisch. Beleuchtet wird das Blickfeld von einer eingebauten, in ihrer Leuchtstärke verstellbaren grünen Niedervoltlampe.

2) Technik zur Durchführung der Härteprüfung

Zunächst wurden die sechs auf eine Glasplatte geklebten Prüfkörper (Abb. 11) mittels der oben genannten Dreipunktauflage auf den Meßtisch gebracht. Die Form der Prüfkörper war dieselbe wie bei den Abriebversuchen. Danach regulierte man die Beleuchtung ein, hob die Eindringvorrichtung an und legte das in Vorversuchen ermittelte Prüfgewicht von 200 g auf. Nach dem Einschwenken des Übersichtsobjektives und der Scharfeinstellung des mikroskopischen Bildes, wurde die für den Eindruck geeignete Präparatstelle durch Betätigung der beiden Feinmeßspindeln in die Mitte des Blickfeldes gerückt und mit dem Meßobjektiv die gewünschte Prüffläche vollends genau in die Bildmitte gebracht. Durch Drehen der Revolverscheibe rastete der Prüfdiamant ein und erst

dann drückte man den Drahtauslöser durch, worauf der Diamant nach einer Ablaufzeit von 15 Sekunden auf dem Objekt aufsetzte. Nach genau 20 Sekunden wurde die Eindringvorrichtung angehoben. Im Meßobjektiv erschien jetzt der quadratische Vickerseindruck, dessen Diagonalen mit der eingravierten Feinmeßskala bis auf eine Genauigkeit von $\pm$ 0,2 /u ausgemessen werden konnte, das heißt die Fehlergrenze liegt bei Diagonalenlängen von 130 /u unterhalb $\pm$ 0,2 %. Aus dem Mittelwert der beiden gemessenen Diagonalen läßt sich die Vickershärte aus Tabellen entnehmen.

Prüfkörpermaterialien	d /u	VH kg/mm^2
Gold "Degulor B" (Firmenangabe)	—	82,0
SR (LZ)	129,9	22,0
Palapont normal (LZ)	130,4	21,8
SR	131,1	21,6
Palapont Spezial A (LZ)	132,1	21,2
Palapont normal	132,6	21,1
Palapont Spezial A	133,2	20,9

Tab. 3: Vickershärte der verschiedenen Prüfkörpermaterialien.

Von allen Prüfkörpermaterialien wurde die Härte bestimmt. Aus jeweils zehn Meßungen pro Prüfkörperart errechneten wir den Mittelwert (Tab. 3). Da die Meß-

schwankungen nur ganz geringfügig waren, konnte auf eine Fehlerrechnung verzichtet werden.

Nach dem Degulor B war SR (LZ) der härteste Kunststoff. Interessant ist, daß die Reihenfolge sowohl bei der Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisation, als auch bei der Kurzzeit - Polymerisation die gleiche ist, wie bei den Abriebversuchen und zwar SR - Palapont normal - Palapont Spezial A. Bemerkenswert ist jedoch, daß Palapont Spezial A (LZ) eine geringere Vickershärte aufweist als das normalpolymerisierte SR.

Da bei Kunststoffen der Begriff der Härte nach C - H. FISCHER und K. MÜNSTERMANN (11) wegen der Elastizität nicht genau zu definieren ist, sollen die hier angegebenen Werte der Vickershärte (Druckhärte) weniger als absolute Werte gelten, sondern vielmehr nur einen Vergleich der einzelnen hier untersuchten Kunststoffe untereinander darstellen. Die von P. GOERENS und R. MAILÄNDER (14) bei Druckhärteprüfungen geforderte Probendicke von 6 Millimetern war in unserem Falle erfüllt.

V. DISKUSSION UND BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Alle in der Literatur beschriebenen Prüfmethoden konnten uns nicht voll befriedigen, da selten alle, für Abriebfestigkeitsprüfungen zahnärztlicher Kunststoffe grundsätzlich zu fordernde Bedingungen eingehalten wurden.

Um nicht immer nur eigene Vergleichsversuche anstellen zu müssen, wäre es in Zukunft sogar erstrebenswert, die Abriebbedingungen und alle wesentlichen Abmessungen einheitlich zu wählen, wodurch dann die Möglichkeit gegeben wäre, Ergebnisse verschiedener Arbeiten zu vergleichen. Dies käme dann allerdings einer sehr wünschenswerten Normung gleich.

Die wichtigsten Bedingungen seien hier kurz angeführt. So schien uns am günstigsten eine geradlinige Abriebbewegung zu wählen, mit immer gleich bleibend großem Hub, weiterhin während des ganzen Abriebvorganges einen konstanten Auflagedruck, der durch Entlastungsphasen und darauf folgendem Schlag rhythmisch unterbrochen wird. Außerdem sollte eine Konstanz herrschen in der Frequenz, der Gesamtumdrehungszahl und der Prüfkörpermaßen. Eine der wichtigsten Forderungen überhaupt ist ein "feuchtes Abriebmilieu".

Gerade der Wechsel der drei Belastungsphasen schien uns besonders wichtig, denn auch im Munde ist doch dem Material immer wieder Gelegenheit gegeben, sich nach einer Krafteinwirkung zu erholen, was bei der großen Elastizität der Kunststoffe sehr wohl von Bedeutung ist.

Um die Streuung der Abriebergebnisse möglichst klein zu halten, mußten die Abmessungen der Prüfkörper peinlichst genau eingehalten werden. Zusätzlich haben wir

noch die in einer Versuchsserie verwendeten Prüfkörper in einem Arbeitsgang hergestellt. In diesem Zusammenhang sind die von R. GROHS (15) mit Zähnen verschieden großer Abnützungsflächen durchgeführten Versuche sehr kritisch zu beurteilen. Auch die oft nur aus fünf bis zehn Einzelversuchen bestehenden Versuchsreihen vieler Autoren ergeben bei den nie zu vermeidenden Streuungen keinerlei statistisch gesicherten Werte.

Die ebenfalls sehr leicht zu übersehende satte Berührung der Abriebflächen von der ersten Abriebbewegung an ist für die Kleinhaltung von Streuungen von großer Bedeutung, wie auch die absolut feste Verankerung der Prüfkörperpaare. Bei der Gewichtsauswertung kann eine beträchtliche Beeinflußung der Gewichtsdifferenz auch durch Verletzung der Prüfkörper beim Einspannen in die Haltevorrichtung hervorgerufen werden, was nur durch eine großflächige Klemmvorrichtung technisch einwandfrei gelöst werden kann.

Zur letzten und wichtigsten Forderung ist zu sagen, daß alle in trockenem Milieu, wenn auch nur kurzzeitig laufende Versuche völlig unbrauchbar sind, denn an den Abrasionsflächen entstehen schon nach kurzer Zeit solch hohe Temperaturen, daß der Kunststoff zu schmieren beginnt. Dies ist schon aus der, bei jedem zu trockenen Poliervorgang zu beobachtenden Erscheinung der oberflächlichen Verbrennung des Kunststoffes ersichtlich. Im Munde sind diese sich stark auf die Abriebergebnisse auswirkende Erscheinungen ja auch undenkbar.

Ebenso wie H. BÖHL (2) haben auch wir großen Wert auf die Zusammensetzung des Schleifmittels gelegt und haben uns zu dem speichelähnlichen, wässerigen Schleim "Tylose" entschlossen, und zwar mit einem möglichst geringen Anteil von Schleifpulver, ohne das sonst nur Poliereffekte erzielt worden wären. Zur Verhinderung

der Sedimentation des Schleifpulvers mußten wir jedoch eine etwas größere Viskosität des Schleifmittels wählen, als die des Speichels, was aber nicht ins Gewicht fallen dürfte. Um den physiologischen Bedingungen der Mundhöhle nahe zu kommen, wählten wir eine Schleifmitteltemperatur von 30° C.

Um die Frage zu klären, ob eventuell auch Streuungen durch die Versuchsanordnung bedingt seien, haben wir für jeden abradierten Prüfkörper die Nummer der jeweiligen Einspannvorrichtung der Abrasionsmaschine festgehalten. Es ergab sich jedoch keinerlei Abhängigkeit des Abriebergebnisses von den jeweiligen Einspannvorrichtungen. Es dürfte sich fast erübrigen in diesem Zusammenhang auf den absolut soliden und präzisen Bau der Abrasionsmaschine hinzuweisen.

Während den Abriebversuchen zeigte sich schon bald die außerordentlich große Bedeutung einer exakten Abriebsauswertung. Nach dem die sehr genau scheinende Gewichtsdifferenzbestimmung sich als doch nicht ausreichend erwies, hielten wir es für unbedingt erforderlich, eine derart umfangreiche Meßmethodik anzuwenden, um die oft sehr geringen Unterschiede überhaupt mit Sicherheit bestimmen zu können.

Es stellte sich nämlich heraus, daß sich durch den nicht ganz auszuschaltenden Wassergehalt der Prüfkörper und die bei der Wägung hinzukommende Luftfeuchtigkeit, Ungenauigkeiten in die Gewichtsergebnisse einschlichen.

An vier Beispielen soll die Beeinflußung der Gewichtsdifferenz durch die Feuchtigkeit gezeigt werden. In der Versuchsreihe SR → Palapont normal liegt die Streuung bei 3,14 mg. Wir haben nun jeweils vier Prüfkörper dieser Serie nach 24 Stunden dem Trockenschrank entnommen und vier Stunden in den geschlossenen, Kalziumchlorid enthaltenden Exsikkator gelegt. Nach einer

Stunde war eine durchschnittliche Gewichtszunahme von 0,16 mg festzustellen, nach drei weiteren Stunden eine von 0,06 mg, insgesamt also nach vier Stunden eine Zunahme von 0,22 mg.

Bei dem zweiten Versuch haben wir wiederum vier Prüfkörper, wie bei der üblichen Versuchsauswertung eine Stunde im geschlossenem Exsikkator aufbewahrt (Gewichtszunahme 0,15 mg) und daraufhin drei Stunden den Exsikkator zur Entnahme der anderen zu wiegenden Prüfkörper laufend geöffnet und nach Herausnahme eines Prüfkörpers zur Wägung diesen sofort wieder geschlossen. Es ergab sich hier eine durchschnittliche Gewichtszunahme durch Feuchtigkeitsaufnahme von 0,12 mg, also das doppelte des Gewichtes des ersten Versuches.

Öffneten wir aber beim dritten Versuch nach einer Stunde für drei weitere Stunden den Exsikkator ganz, so war während dieser drei Stunden die vierfache Gewichtszunahme von der des ersten Versuches, also 0,24 mg zu verzeichnen.

Am verblüffensten jedoch war ein Zufallsergebnis, in dem nämlich ein Prüfkörper unbeabsichtigt nach der Endgewichtsbestimmung wieder für ungefähr acht bis zehn Tage in den Trockenschrank gelangte. Dieser verlor während dieser Zeit 2 mg seines Gewichtes durch weiteren Feuchtigkeitsentzug, das entspricht einem Gewichtsverlust von 60 % des gesamten Streubereichs dieser Versuchsserie.

Diese vier Beispiele zeigen deutlich, daß einmal der nicht ganz auszuschaltende Feuchtigkeitsgehalt des Kunststoffes und zum anderen die Feuchtigkeit der Luft zu schwierig zu beherrschenden Fehlern führen. Diese feuchtigkeitsbedingten Fehler könnten nur vernachlässigt werden, einmal durch extrem lange Austrocknungszeiten im Trockenschrank und zum andern durch eine, um ein

Vielfaches höhere Gewichtsdifferenz, also einen sehr großen Abrieb im Vergleich zum "Feuchtigkeitsfehler".

Aus diesen Gründen haben wir, wie schon erwähnt, zur statistischen Auswertung die Abrasionstiefe, gemessen in hundertstel Millimeter, herangezogen, die bei jedem Prüfkörper einen Mittelwert aus 22 Einzelmeßungen darstellt.

Bei den zunächst verwirrenden Ergebnissen zeigte sich nach genauerer Betrachtung doch eine interessante Gesetzmäßigkeit und eine Bestätigung der vorne definierten Abrasionsfestigkeit.

Ganz allgemein ist auffallend, daß der Schwankungsbereich der Abriebfestigkeit der Kunststoffe untereinander relativ klein ist; die Abnahme der Abrasionsfestigkeit der Kunststoffe gegenüber Gold jedoch ein Vielfaches dieses Schwankungsbereiches beträgt.

Die beiden besten Abriebergebnisse ergaben nun das Palapont Spezial A (LZ) und das Palapont normal (LZ). Wie erwähnt wurde, beträgt das Mischungsverhältnis Pulver zu Flüßigkeit bei diesen 2,5 : 1, bei SR jedoch 3 : 1. Die nur bei dem Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren eindeutig besseren Abriebergebnisse von Palapont Spezial A (LZ) und Palapont normal (LZ) mit ihrem, im Gegensatz zu SR, größeren Monomeranteil sind nur zu erklären durch einen höheren Polymerisationsgrad des Monomeren im Vergleich zum Polymer. Damit wird bei dem Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren eine in der Literatur vorherrschende Ansicht zweifelhaft, daß das polymerisierte Monomer - die Zwischensubstanz - einen geringeren Polymerisationsgrad besäße als das Polymer.

Die Überlegenheit des Palapont Spezial A (LZ) über das Palapont normal (LZ) lag nur in der Vernetzung des Ersteren. So wie sich nachfolgend noch öfter er-

gab, stehen auch hier die Abriebergebnisse in umgekehrtem Verhältnis zu den Härtewerten.

Die statistische Unterschiedsberechnung zeigte bei den Versuchsreihen SR → SR, SR → SR (UV) und SR → SR (LZ) keine Signifikanz. Demzufolge ruft einerseits eine nachträgliche Bestrahlung mit ultraviolettem Licht beim auspolymerisierten Kunststoff keine Veränderungen in Bezug auf die Abriebfestigkeit mehr hervor. Andererseits zeigte die Versuchsreihe SR → SR und SR → SR (LZ), daß bei SR durch das Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren keine statistisch gesicherte Steigerung der Abriebfestigkeit mehr zu erzielen ist. Das bedeutet, daß im Gegensatz zu Palapont normal und Palapont Spezial A, bei SR schon durch die Kurzzeit - Polymerisation der maximale Polymerisationsgrad erreicht wird.

Bei der Kurzzeit - Polymerisation zeigte sich nun immer wieder die Reihenfolge: SR - Palapont normal - Palapont Spezial A. Das besagt, daß die oben widerlegte Ansicht des geringeren Polymerisationsgrades des Monomeren im Gegensatz zum Polymeren, bei der Kurzzeit - Polymerisation seine Gültigkeit noch voll besitzt. Nur so ist der jeweils geringste Abrieb des SR zu erklären, da nämlich durch den großen Polymeranteil und die verminderte Zwischensubstanz ein größerer Gesamtpolymerisationsgrad resultiert. Hinzu kommt beim SR die oben schon begründete maximale Auspolymerisation.

Das Palapont normal verdankt seine niedere Abriebfestigkeit weitgehend dem höheren Anteil des niederauspolymerisierten Monomeren und somit dem kleineren Gesamtpolymerisationsgrad.

Die Werte des bei Kurzzeit - Polymerisation immer an letzter Stelle stehenden Palapont Spezial A

lassen sich nur dadurch erklären, daß, noch in stärkerem Maße als beim Palapont normal, durch den Vernetzer die Kurzzeit - Polymerisation nicht ausreicht um die maximal günstigste Molekülmaschenstruktur zur Aus - bildung kommen zu lassen.

Schwierig ist die Frage zu beantworten, warum Palapont normal bei allen Versuchsreihen einen größeren Abrieb hervorruft als SR (Versuchsreihe P → SR, P → P und P → Sp im Gegensatz zu SR → SR, SR → P und SR → Sp), jedoch immer unter der jeweiligen Ein - haltung der oben erwähnten Reihenfolge. Denkbar wäre, daß durch die Vernetzung und vollständigen Auspoly - merisation des Monomeranteils bei SR die Abriebfestig - keit der Perlen und die der auspolymerisierten Zwischen- substanz annähernd gleich ist und dadurch die Abrieb - fläche mikroskopisch gesehen, glatter ist als beim Palapont. Bei diesem jedoch unterliegt die unvernetzte, niederauspolymerisierte Zwischensubstanz einem etwas größeren Abrieb als die Perlen mit ihrem höheren Poly - merisationsgrad. Auf diese Weise entsteht einmal eine größere Rauhigkeit der Abriebfläche durch die hervor - ragenden Perlen, und zum andern lagern sich in die Täler der abradierten Zwischensubstanz zusätzlich noch die außerordentlich kleinen Partikel des Schleifpulvers (20 bis 40 µ) ein. Hierfür wäre ein nicht ganz zu - treffender Vergleich vielleicht die Wirkungsweise zweier Radiergummis. Der normale, für Bleistift bestimmte Gummi ruft einen wesentlich geringeren Papierabrieb her - vor als der Tintenradiergummi, welcher durch seine Ein - lagerung von Schleifpartikeln eine beträchtliche, von Tinte durchsetzte Papierschicht abträgt.

Somit trifft die früher erwähnte Beobachtung der geringeren Abriebfestigkeit des kurzzeitpolymerisierten Palapont normal gegenüber dem SR nur teilweise zu. Die

tatsächlich kleinere Abriebfestigkeit wird somit fälschlicherweise noch verschlechtert um die sich in Wirklichkeit handelnde größere abrieberzeugende Fähigkeit des kurzzeitpolymerisierten Palapont normal.

Beim Abrieb, G o l d gegen K u n s t s t o f f , kam zu dem erwartungsgemäßen, sprunghaften Anstieg des Kunststoffabriebs noch eine Verschiebung der Reihenfolge zwischen SR und Palapont normal.

Schon allein durch die Tatsache, daß Gold ein dichtgefügter Körper von großer Homogenität darstellt, Kunststoff dagegen eine lose gefügte, oft inhomogene Struktur besitzt, macht den hohen Abrieb verständlich. Die Umkehrung der Reihenfolge bei Gold läßt sich jedoch nur durch die günstigeren Elastizitätseigenschaften des unvernetzten Palapont normal dem Gold gegenüber erklären. Auch hier zeigt sich wieder, wie auch bei den Versuchsreihen SR $\longrightarrow$ SR und P $\longrightarrow$ SR, daß nicht die Härtewerte allein für den Abrieb verantwortlich sind.

Auf Grund dieser Untersuchungen ließen sich folgende praktische Erkenntnisse ableiten:

1) Das Palapont Spezial A (LZ) und das Palapont normal (LZ) besaßen die größte Abriebfestigkeit überhaupt.

2) Bei der Kurzzeit - Polymerisation ist jedoch SR dem Palapont Spezial A und dem Palapont normal bei weitem überlegen.

3) Interessant war ebenfalls, daß zwischen SR und SR (LZ) kein signifikanter Unterschied bestand, somit läßt sich bei SR im Gegensatz zum Palapont normal und Palapont Spezial A, die Abriebfestigkeit durch das Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren nicht erhöhen.

4) Eine Beeinträchtigung der Abriebfestigkeit bei den

Acrylaten war auch mit hohen Dosen von ultravioletter Strahlung statistisch nicht nachweisbar.

5) Bemerkenswert war, daß Palapont normal einerseits einen größeren Abrieb hervorrief als SR, andererseits aber auch stärker abradiert als SR. Somit trifft die eingangs aufgestellte Vermutung der geringeren Abriebfestigkeit des Palapont normal zu, allerdings nur bei der üblicherweise durchgeführten Kurzzeit - Polymerisation; bei dem Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren jedoch übertrifft seine Abriebfestigkeit die des SR und des SR (LZ).

6) Eine Bestätigung der längst gemachten klinischen Erfahrung war die sprunghafte Zunahme des Abriebs der Kunststoffe gegenüber Gold, im Vergleich zu den Abrasionswerten, die sich beim Abrieb der Kunststoffe untereinander ergaben.

7) Demzufolge sollte die Verwendung von Porzellan gegen Kunststoff und wenn möglich auch Metall gegen Kunststoff vermieden werden, und dem Kunststoff nur Kunststoff gegenübergestellt werden.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Zunächst wurde der Begriff der Abrasionsfestigkeit definiert, der von dem Verhältnis der Härte, der Festigkeit und der Elastizität zueinander abhängig ist.

Die experimentelle Bestimmung der Abrasionsfestigkeit wurde mit einer zu diesem Zwecke konstruierten Abriebmaschine unter möglichst kunststoffgerechten und den Bedingungen der Mundhöhle weitgehend angepaßten Prüfverfahren durchgeführt. An die Versuchsanordnung wurden folgende acht grungsätzliche Bedingungen gestellt: Geradlinige Abriebbewegungen bei immer gleichbleibend großem Arbeitshub und einem konstanten Auflagedruck. Weiterhin waren drei rhytmisch wechselnde Belastungsphasen erforderlich, bestehend aus der Abriebphase, einer Ruhephase und einem Schlag. Außerdem mußte eine absolute Konstanz der Frequenz, der Gesamtumdrehungszahl und der Prüfkörpermaße gewährleistet sein. Wesentlich war es, daß der Abrasionsvorgang in feuchtem Milieu stattfand. Die Prüfkörperpaare bestanden aus einem oberen, quaderförmigen und einem unteren, flächenhaften Prüfkörper. Der untere, zur Auswertung kommende Testkörper, war größer, als die vom oberen Prüfkörper bestrichene Fläche, sodaß eine immer gleichbleibend große Abriebfläche und ein konstanter Flächendruck gewährleistet war.

Als Schleifmittel wurde ein kunststoffverträgliches, speichelähnliches Gemisch gewählt, das aus Tylose, Siliziumcarbit und Wasser bestand.

Drei Meßmethoden zur Auswertung des Abriebes wurden verwendet: Die Gewichtsdifferenzbestimmung mit Hilfe einer Analysenwaage, ein elektronisches und ein mechanisches Meßverfahren. Statistisch ließen sich nur

die beiden letzten Methoden auswerten, da durch den unkontrollierbaren Feuchtigkeitsgehalt des Kunststoffes keine absolute Gewichtsbestimmung möglich war.

Untersucht wurden SR, Palapont normal und Palapont Spezial A, jeweils unter dem Kurzzeit - Polymerisationsverfahren und dem Langzeit - Tieftemperatur - Polymerisationsverfahren, hinzu kam noch eine mit ultraviolettem Licht bestrahlte Serie und die Untersuchung des Kunststoffabriebs gegenüber Gold.

Die 13 durchgeführten Versuchsserien mit je 50 Einzelversuchen zeigt nachstehende Reihenfolge mit abnehmender Abrasionsfestigkeit gemessen in hundertstel Millimeter.

1)	Palapont normal	⟶	Palapont Spezial A (LZ)	(35)
2)	Palapont normal	⟶	Palapont normal (LZ)	(36,5)
3)	SR	⟶	SR	(37,5)
4)	SR	⟶	SR (UV)	(38)
5)	SR	⟶	SR (LZ)	(38,5)
6)	Palapont normal	⟶	SR	(38,5)
7)	SR	⟶	Palapont normal	(39)
8)	Palapont normal	⟶	Palapont normal	(39,5)
9)	SR	⟶	Palapont Spezial A	(40)
10)	Palapont normal	⟶	Palapont Spezial A	(41,5)
11)	Gold	⟶	Palapont normal	(48,5)
12)	Gold	⟶	SR	(50,5)
13)	Gold	⟶	Palapont Spezial A	(51,5)

Zum Schluß wurde noch die Vickershärte der verschiedenen Prüfkörpermaterialien bestimmt. Es ergaben sich folgende Härtewerte:

1)	Gold "Degulor B" (Firmenangabe)	82,0 kg/mm^2
2)	SR (LZ)	22,0 kg/mm^2
3)	Palapont normal (LZ)	21,8 kg/mm^2

4)	SR	21,6 kg/mm^2
5)	Palapont Spezial A (LZ)	21,2 kg/mm^2
6)	Palapont normal	21,1 kg/mm^2
7)	Palapont Spezial A	20,9 kg/mm^2

Die Untersuchungen ergaben folgende praktischen Ergebnisse:

1) Palapont Spezial A und Palapont normal ergaben die besten Langzeitpolymerisations - Ergebnisse.

2) SR zeigte die besten Kurzzeitpolymerisations - Ergebnisse, dann folgte Palapont normal und zu - letzt Palapont Spezial A.

3) Zwischen SR und SR (LZ) liegt kein signifikanter Unterschied.

4) Die Bestrahlung des auspolymerisierten Kunststoffes mit ultraviolettem Licht hat keinen Einfluß auf dessen Abriebfestigkeit.

5) Palapont normal ruft einerseits einen größeren Abrieb hervor als SR, wird andererseits aber auch stärker abradiert.

6) Gold erzeugt einen wesentlich größeren Kunststoff - abrieb als die Kunststoffe gegeneinander.

7) Somit sollte dem Kunststoff weder Porzellan noch Metall, sondern nur wieder Kunststoff gegenüber - gestellt werden.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bauer, W. — Wie soll polymerisiert werden? Zahnärztl. Welt, 6, 162 - 163, 1951.

2. Böhl, H. — Zur Frage der Abrasion und der Härte gebräuchlicher Kunststoff - zähne. Med. Diss. 1956, Tübingen.

3. Brunner, I. — Untersuchungen über die Biegefestigkeit, Wasseraufnahme und Abrieb - festigkeit des Paladons bei ver - schiedenen Verarbeitungsmethoden. Med. Diss. 1949, Frankfurt / a.M.

4. Busser, H. — Das Kompensatorsystem. Zahnärztl. Praxis, 3, 813, 1952.

5. Castagnola, L. von Arx, H. — Selbstpolymerisierende Kunststoffe. Schweiz. Mschr. Zahnhk. 64, 1103 und 1245, 1954.

6. Continental Gummi - Werke Aktienges. Hannover — Briefliche Mitteilung, vom 9. 3. 1962

7) Deutsche Dunlop Gummi Compagnie Aktienges., Hanau am Main — Briefliche Mitteilung vom 9. 3. 1962

8. Dewein, H. — Einführung in die zahnärztlichen Kunststoffprobleme. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 13, 1 345 - 1352, 1958.

9. Drum, W. — Vorschlag zur Nomenklatur der "Abrasionen". Die Quintessenz d. zahnärztl. Literatur 13, Ref. Nr. 1991, 1962.

10. Eichner, K. — Die zweckmäßige Verarbeitung des Kunststoffes Paladon - die Grund - lage für den Erfolg der prothetischen Behandlung. Zahnärztl. Rdsch. 63, 439 - 452, 1954.

11. Fischer, C-H.
Münstermann, K.
Experimentelle Untersuchungen über die Ritzhärte und Schleiffestigkeit zahnärztlicher Polymerisationskunststoffe.
Stoma 6, 165 ff, 1953.

12. Fischer, C-H.
Isenbarth, R.
Struktur und Festigkeit der schnellpolymerisierenden Kunstsroffe.
In: Kleeberg, R. und Reichenbach, E.: Deutsche Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Band 17, Joh. Ambrosius Barth Verlag Leipzig 1952/1953, 112-128.

13. Gerber, A.
Die Problemstellung der Kunststoffe in der Zahnheilkunde.
Schweiz. Mschr. Zahnhkd. 59, 683-687, 1949.

14. Goerens, P.
Wien, W.
Mailänder, R.
Harms, F.
Handbuch der Experimentalphysik, Band 5, Akadem. Verlagsges. mbH, Leipzig 1930.

15. Grohs, R.
Die Verwendung des Kunstoffzahnes mit besonderer Berücksichtigung meiner Erfahrungen mit dem Dentia - Zahn.
Österr. Zschr. f. Stomatologie, 51, 464, 1954.

16. Haefeli, M.
Aufbau und Eigenschaften von Dentalkunststoffen.
Schweiz. Mschr. Zahnhk. 57, 779 ff, 1947.

17. Henkel, G.
Statistische Untersuchungen an k - Werten von zahnärztlichen Kunststoffen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 13, 1209 - 1218, 1958.

18. Hiltebrand, C.
Die Arbeitsphysiologie des menschlichen Kauorgans.
Werkverlag Dr. Edmund Banaschewski, Bad Wörishofen, 1950.

19. Hofmann, M.
Erfahrungen mit kunststoffverkleideten Kronen - und Brückenkonstruktionen.
Dtsch. zahnärztl. Zschr. 13, 502 - 514, 1958.

20. Porzellanfabrik C. M. Hutschenreuther A.G. Hohenberg/ Eger — Briefliche Mitteilung vom 9.3.1962.

21. Zahnfabrik Ivoclar AG. Schaan/Liechtenstein — Briefliche Mitteilung vom 11.9.1962.

22. Janke, G. — Mündliche Mitteilung

23. Jordan, J. St. Cornell, J. Ellis, S. — Der Abnützungstest bei Kunststoffzähnen. Österr. Zschr. f. Stomatologie, 52, 129 - 131, 1955.

24. Kraus, K. — Das Verhalten einiger Kunststoffe hinsichtlich ihrer Abscherfestigkeit, Farbechtheit und Farbabsorption. Med. Diss. 1942, Berlin.

25. Kulzer & CO. GmbH, Bad Homburg. — Briefliche Mitteilungen vom 21.8.1962 und 18.12.1962.

26. Lang, K. Lehnartz, E. — Handb. d. physiol.- und pathol.-chemischen Analyse, Band 5, 10. Aufl., Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1955, 12 - 15.

27. Mathé, L.G. — Kunststoffe bei Kronen und Brücken. Verlag Urban und Schwarzenberg, München, Berlin, 1954.

28. Meyer, Helmut — Über die Ursachen der Abrasio dentis. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 14, 941 - 948, 1959.

29. Meyer, Helmut — Über die Abriebfähigkeit zahnärztlicher Kunststoffe. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 10, 180 - 185, 1955.

30. Münch, F. C. — "Diacryl - Super" Das Dtsche. Zahnärztebl. 14, 35, 1960.

31. Osborne, J. — Papers to 72 Ann. Gen. Meeting. Brit. dent. assoc., Sept. 1952.

32. Rehák, R. — Experimentelle Studien zur Verbesserung der Qualität der Methacrylatenprodukte. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 13, 1430 - 1436, 1958.

33. Rink, G. — Zur Polymerisation unserer Prothesenwerkstoffe. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 9, 279 - 280, 1954.

34. Ritze, H. Ude, H. J. — Artikulation und Abrasion. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 16, 1220 - 1226, 1961.

35. Schreiber, S. — Der Einfluß von Vernetzern auf verschiedene gebräuchliche Kunststoffe. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 17, 1071 - 1076, 1962.

36. Schröder, F. — Über Abkauung im natürlichen Gebiß und einem Abschleifversuch von Kunststoff in Brückenarbeiten. Med. Diss. 1942, Köln.

37. Schuchardt, D. — Gibt es eine Abrasio ohne Schleifmittel. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 17, 280 - 282, 1962.

38. Siebel, E. — Handb. der Werkstoffprüfung, Bd.2, 2. Aufl., Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1955, 405 ff.

39. Slack, F. A. — A preliminary method of testing abrasion hardness. J. amer. dent. assoc. 39, 47, 1949.

40. Spreter von Kreudenstein, Th. Busch, H. — Über das Verhalten von Füllungen aus schnellhärtendem Kunststoff gegenüber dem Kaudruck. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 6, 664 - 669, 1951.

41. Steinmetz, H. — Untersuchungen auf Abriebfestigkeit bei fraktionierter Polymerisation des Palaponts. Med. Diss. 1950, Frankfurt /a.M.

42. Strack, R. — Für und wider Kunststoff. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 2, 97 - 108, 233 - 250, 1947.

43. Uhlig, H. — Ist es für die Praxis erforderlich, das bisher übliche Polymerisationsverfahren chemoplastisch verarbeiteter Kunststoffe zu ändern um eine Qualitätssteigerung des Werkstoffes zu erreichen? Zahnärztl. Rdsch. 59, 300, 1950.

44. Wannenmacher, E. — Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde. Verlag Joh. Ambrosius Barth, Leipzig 1952.

45. Weber, E. — Grundrisse der biologischen Statistik. Verlag Gustav Fischer, Jena 1956.

46. Weikhart, P. — Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Carl Hanser Verlag, München 1950.

47. Wild, W. — Über Zusammensetzung, Verarbeitung und Struktur der zur Herstellung von Prothesen am meisten gebräuchlichen Acrylate. Schweiz. Mschr. Zahnhk. 57, 905, 1947.

48. Wild, W. — Funktionelle Prothetik. Benno Schwabe & Co. Verlag, Basel 1950.

An dieser Stelle möchte ich es nicht versäumen, Herrn Professor Dr. Dr. E. Fröhlich für die Überlassung des Themas, sowie Herrn Dr. M. Hofmann für die vielen Anregungen und Ratschläge während der Arbeit herzlich zu danken.

Dank gebührt auch den Firmen der Kunstoffindustrie, die mir die Materialien zu meinen Versuchen zur Verfügung stellten.

Lebenslauf

Am 7. September 1935 wurde ich, Dieter von Saal, als Sohn des 1945 im Kriege gefallenen Zahnarztes Arno von Saal und seiner Ehefrau Dr. Gertrud von Saal, geb. Schmid, Zahnärztin, in Uhingen Kreis Göppingen geboren. Von 1942 bis 1946 besuchte ich die Grundschule in Uhingen. Danach trat ich in das Hohenstaufen - Gymnasium in Göppingen über, wo ich im Frühjahr 1955 die Reifeprüfung ablegte. Im Sommersemester 1955 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard - Karls - Universität in Tübingen, wo ich im April 1958 die zahnärztliche Vorprüfung bestand. Im Sommersemester 1958 immatrikulierte ich mich an der Christian - Albrecht - Universität in Kiel und vom Wintersemester 1958/59 an setzte ich mein klinisches Studium an der Universität Tübingen fort. Dort beendete ich im Frühjahr 1961 mein Studium mit dem zahnärztlichen Staatsexamen. Seither bin ich an meiner Doktorarbeit am Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen tätig.